

Anna WOJTASZEK-SŁOMIŃSKA¹, Aida KUSIAK¹, Monika SAWICKA¹, Roman ŚMIERZCHALSKI², Dariusz ŚWISULSKI², Ariel DZWONKOWSKI², Tomasz BARNERT²

¹ GDAŃSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY, ul. Dębowa 1a, 80-204 Gdańsk

² POLITECHNIKA GDAŃSKA, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Termograficzna diagnostyka stanu dziąseł

Dr hab. n. med. Anna WOJTASZEK-SŁOMIŃSKA

Studia wyższe ukończyła na Wydziale Lekarskim z Oddziałem Stomatologicznym AMG, obecnie GUMed. Posiada specjalizację z zakresu stomatologii dziecięcej i ortodoncji. Stopień dr hab. otrzymała w 2011 roku. Od roku 2007 jest kierownikiem Zakładu Ortodoncji GUMed. Zajmuje się badaniami pacjentów z wrodzonymi wadami twarzowej części czaszki oraz wpływem leczenia ortodontycznego na zdrowie jamy ustnej. Jest autorem ponad 125 prac naukowych oraz członkiem towarzystw naukowych polskich i zagranicznych.

e-mail: aslom@gumed.edu.pl



Dr hab. n. med. Aida KUSIAK

Absolwentka Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, od 2008 roku jest Kierowniczką Katedry i Zakładu Periodontologii i Chorób Błony Śluzowej Jamy Ustnej GUMed. Specjalizuje się w dziedzinie periodontologii i stomatologii zachowawczej. Jest członkiem kilku towarzystw naukowych, vice Prezesem Polskiego Towarzystwa Stomatologicznego, autorem i współautorem ponad 100 publikacji i doniesień naukowych.

e-mail: akusiak@gumed.edu.pl



Dr hab. n. med. Monika SAWICKA

Dr n.med. Monika Sawicka pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Ortodoncji GUMed. Posiada specjalizację w dziedzinie ortodoncji. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Stomatologicznego, Polskiego Towarzystwa Ortodontycznego oraz Europejskiego Towarzystwa Ortodontycznego. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu publikacji.

e-mail: msawicka@gumed.edu.pl



Dr hab. inż. Roman ŚMIERZCHALSKI

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym PG specjalność automatyka. Od roku 1980 pracował w Akademii Morskiej w Gdyni, również jako elektroautomatyk na statkach. Od roku 2009 pracuje na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki PG. Zajmuje się sterowaniem i automatyką systemów okrętowych, metodami sztucznej inteligencji. Jest autorem ponad 200 prac naukowych, książek, skryptów, artykułów i członkiem organizacji technicznych oraz naukowych.

e-mail: romsmier@eia.pg.gda.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienie dotyczące wykorzystania kamer termowizyjnych do bezinwazyjnych badań stomatologicznych. Badania wstępne przeprowadzono dla kilku osób, dokonując pomiarów rozkładu promieniowania temperaturowego w obrębie dziąsła. Analiza wyników badań wykazała zmiany przepływu krwi w dziąśle, co oznacza, iż badania te mogą być pomocne w monitorowaniu przejściowych procesów zapalnych dziąseł. Ważnym zagadnieniem jest jednak dobór odpowiedniej metodyki przeprowadzania tych pomiarów.

Słowa kluczowe: termografia, leczenie ortodontyczne, przepływ krwi w dziąśle.

Dr hab. inż. Dariusz ŚWISULSKI

Profesor w Katedrze Metrologii i Systemów Informatycznych na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Autor lub współautor ponad stu pięćdziesięciu artykułów w czasopiśmie naukowych lub materiałach konferencyjnych oraz ponad dwudziestu wdrożeń w przemyśle. Obszar zainteresowań obejmuje metrologię, systemy pomiarowe, przetwarzanie sygnałów pomiarowych.

e-mail: d.swisulski@ely.pg.gda.pl



Dr inż. Ariel DZWONKOWSKI

Adiunkt w Katedrze Metrologii i Systemów Informatycznych Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania badawcze: systemy pomiarowe, diagnostyka łożysk silników indukcyjnych, projektowanie użytecznych interfejsów oraz szacowanie niepewności pomiarowych.

e-mail: aridzwon@pg.gda.pl



Mgr inż. Tomasz BARNERT

Asystent w Katedrze Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania badawcze: analizy bezpieczeństwa funkcjonalnego i ocena ryzyka obiektów przemysłowych podwyższonego ryzyka. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu publikacji naukowych.

e-mail: t.barnert@ely.pg.gda.pl



Thermographic diagnostics of the gums

Abstract

One of the modern methods used in medicine are thermographic research. Since periodontal tissues are among the most vascularized in the human body, the use of a high-sensitivity thermal imaging camera would allow non-invasive assessment and early detection of pathological changes in the gum [2, 3]. The aim of the study was to evaluate the hemodynamic changes within the gums during orthodontic treatment using thermography research. The examination covered several generally healthy people aged 10-13 years, who were undergoing orthodontic treatment. Thermographic research concerned the incisors of the upper dental arch with clinically healthy periodontium. A cooled, high sensitivity thermal camera FLIR X6580sc was used for investigations. Based on the performed research and analysis of the results, it can be concluded that in the case of measurements taken after about 5 minutes from the initial test there cannot be observed any changes in the average temperature. However, these changes are visible after about 20 minutes after the application of orthodontic forces. Namely, the observed increase in the average temperature was about 1,5°C, which indicated the hemodynamic changes within the gums. Based on the obtained results it can be concluded that the thermographic research may be helpful in monitoring the transition of inflammatory processes through the gum in the treatment with permanent braces. However, the selection of an appropriate methodology for conducting these measurements is a very important issue.

Keywords: thermography, orthodontic treatment, blood flow in the gums.

1. Wstęp

Termowizja jest dziedziną nauki i techniki, która zajmuje się detekcją, przetwarzaniem i wizualizacją niewidzialnego promieniowania podczerwonego, wysyłanego przez ciała, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego. Natężenie promieniowania jest zależne od temperatury i cech powierzchni ciała. Ze względu na fakt, iż pomiary są wykonywane w sposób bezkontaktowy i bezinwazyjny termowizja znalazła zastosowanie w szeregu dziedzinach nauki i techniki, m. in. w budownictwie, elektrotechnice, chemii czy medycynie [1]. Kolejną zaletą pomiarów z wykorzystaniem termowizji jest to, że są one wykonywane w czasie rzeczywistym, a wynik badania znany jest natychmiast.

Do badań, opartych na wykorzystaniu promieniowania podczerwonego stosowane są kamery termowizyjne. Na podstawie rejestracji natężenia promieniowania podczerwonego można wyznaczyć obraz temperaturowy obiektu. W miarę udoskonalania metod produkcji detektorów uzyskiwane są coraz wyższe rozdzielczości termiczne, dzięki czemu termogramy są coraz bardziej dokładne [2, 3].

W medycynie kamery termowizyjne znalazły szerokie zastosowanie np. do pomiaru ukrwienia skóry po oparzeniach, w niektórych stanach nowotworowych, w chirurgii plastycznej, diagnostyce chorób naczyniowych oraz okulistyce i urologii [2, 3]. Biorąc pod uwagę fakt, że tkanki przyzębia są jednymi z najbardziej unaczynionych w organizmie człowieka można przypuszczać, że również w stomatologii wykorzystanie termowizji na szerszą skalę umożliwiłoby bardziej dokładną ocenę mikrokrążenia w obrębie jamy ustnej [4, 5]. W celu umożliwienia bezinwazyjnego i wczesnego wykrycia zmian patologicznych w dziąśle należy wykorzystać kamerę termowizyjną o dużej czułości. Należy zwrócić uwagę, że leczenie ortodontyczne z jednej strony przywraca prawidłowe funkcje układu stomatognatycznego, natomiast z drugiej - może powodować uszkodzenie struktur zęba i przyzębia [6]. Działanie stałych aparatów ortodontycznych opiera się na zastosowaniu dwóch rodzajów sił ortodontycznych: siły ciągłej i przerywanej. Przypuszcza się, że siły przerywane mogą być pod względem klinicznym bardziej korzystne, gdyż podczas okresu spadku wartości siły dochodzi do reorganizacji włókien ozębnej [7].

W stomatologii kamery termowizyjne mogą mieć zastosowanie w wielu specjalnościach m.in. w periodontologii, do monitorowania stanów zapalnych w przyzębiu, w endodoncji oraz materiałoznawstwie [2-7]. Również w ortodoncji otwierają się możliwości wykorzystania tej metody do monitorowania zmian w przyzębiu w trakcie leczenia ortodontycznego. W leczeniu ortodontycznym w zależności od wartości zastosowanej siły ortodontycznej dochodzi do przejściowego stanu zapalnego generującego zmiany biochemiczne, a następnie komórkowe w obrębie przyzębia. W zależności od stanu klinicznego pacjenta oraz planowanego ruchu zęba istnieje konieczność właściwego doboru skutecznej i bezpiecznej wartości siły generowanej przez aparat ortodontyczny. Na podstawie przeglądu literatury przedmiotowej stwierdzono brak opracowań dotyczących badań termowizyjnych w planowanym leczeniu ortodontycznym szczególnie u osób dorosłych z wykorzystaniem różnych typów aparatów ortodontycznych.

Przeprowadzenie opisanych w tym artykule badań umożliwiła współpraca między Gdańskim Uniwersytetem Medycznym i Politechniką Gdańską. Pracownicy GUM umożliwili dostęp do pacjentów i przeprowadzili interpretację uzyskanych wyników. Pracownicy PG odpowiadali za obsługę techniczną sprzętu pomiarowego i akwizycję termogramów oraz za cyfrowe przetwarzanie wyników.

2. Metoda pomiaru

Badania wykonano dla kilku pacjentów w wieku 10-13 lat, zdrowych, będących w trakcie leczenia ortodontycznego. Badanie termowizyjne dotyczyło siekaczy górnego łuku zębowego, bez próchnicy i wypełnień, przy braku patologicznych kieszonek dziąsłowych / przyzębnych, ruchomości zębów, wskaźniku krwa-

wienia z kieszonki dziąsłowej mSBI < 10% oraz z bardzo dobrą higieną jamy ustnej (wskaźnik API < 10%). Na przeprowadzenie tych badań uzyskano zgodę Niezależnej Komisji Bioetycznej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego.

Do badań termowizyjnych w obrębie dziąsła wybrano kamerę termowizyjną FLIR (z chłodzonym detektorem) o rozdzielczości matrycy detektorów 640 x 512, wyposażoną w obiektyw MW 50 mm 2,0. Częstotliwość nagrywanych sekwencji wynosiła 25 fps, natomiast czas integracji 935 μ s. Badanie przeprowadzono w temperaturze otoczenia 20°C, przy współczynniku emisyjności wynoszącym 0,95 i czułości emisyjnej < 20 mK (< 0,002°C). Kamerę termowizyjną ustawiono na statywie w odległości 20 cm od jamy ustnej badanych pacjentów. W celu wyeliminowania wpływu czynników zewnętrznych, które mogłyby niekorzystnie wpływać na wynik badania termograficznego pacjenci godzinę przed badaniem nie spożywali pokarmów i płynów. Pacjenci byli badani w pozycji siedzącej, a pomiary rozpoczęto po upływie 1 minuty od chwili otworzenia ust. Analiza wyników pomiarów polegała na detekcji zmian temperatury w obrębie dziąsła w określonych odstępach czasu. Do analizy termogramów wykorzystano oprogramowanie FLIR ResearchIR MAX, które umożliwia zaawansowane przetwarzanie rejestrowanych obrazów i eksport danych do formatu CSV oraz aplikację MS Excel.

3. Wyniki pomiarów wstępnych

W celu potwierdzenia możliwości wykorzystania termogramów do oceny mikrokrążenia w obrębie dziąsła przeprowadzono badania wstępne. Na rysunkach 1÷4 przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane z pomiarów dla dwóch wybranych pacjentów. Pierwszą z badanych osób był chłopiec w wieku lat 13-tu w trakcie leczenia ortodontycznego aparatem stałym w końcowym etapie niwelacji. Wykonano dwa badania: pierwsze z drutem 16/22 NiTi i drugie badanie po upływie około 5 minut po założeniu drutu 16/22SS. Uzyskane termogramy przedstawiono na rysunku 1.

Rozkład temperatury w obrębie badanego obszaru dziąsła u pierwszego pacjenta w badaniu z drutem 16/22 NiTi przedstawiał się następująco:

- temperatura minimalna 33,2°C,
- temperatura maksymalna 35,2°C,
- temperatura średnia 34,1°C,
- zakres zmian 1,9°C,
- odchylenie standardowe 0,6°C.

Natomiast u tego pacjenta w badaniu wykonanym po upływie 5 minut od założenia łuku 16/22SS otrzymano następujące wyniki:

- temperatura minimalna 33,6°C,
- temperatura maksymalna 34,8°C,
- temperatura średnia 34,2°C,
- zakres zmian 1,2°C,
- odchylenie standardowe 0,9°C.

Rozkład temperatur na powierzchni dziąsła pierwszego pacjenta w obu pomiarach przedstawiono na rysunku 2.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, iż wartości średniej temperatury w obu omawianych przypadkach były zbliżone.

Kolejną z badanych osób był chłopiec w wieku 10-ciu lat, leczony ortodontycznie od sześciu miesięcy. Pierwsze badanie pacjenta wykonano po zdjęciu drutu 0,16 NiTi, natomiast drugie badanie po upływie 20-tu minut od założenia drutu 16/22 NiTi. Uzyskane termogramy przedstawiono na rysunku 3.

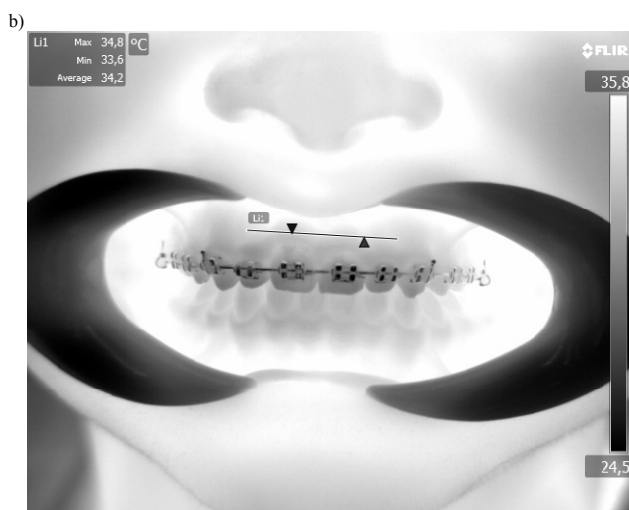
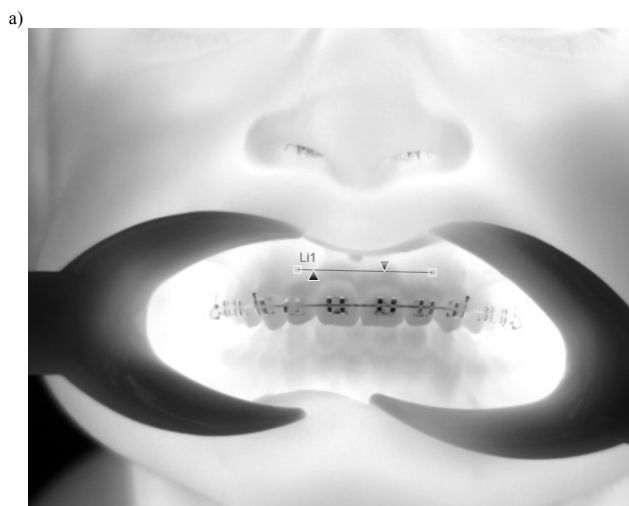
Rozkład temperatury w obrębie badanego obszaru dziąsła drugiego pacjenta w badaniu po zdjęciu drutu 0,16 NiTi przedstawiał się następująco:

- temperatura minimalna 32,5°C,
- temperatura maksymalna 33,5°C,
- temperatura średnia 32,9°C,
- zakres zmian 2,0°C,
- odchylenie standardowe 0,4°C.



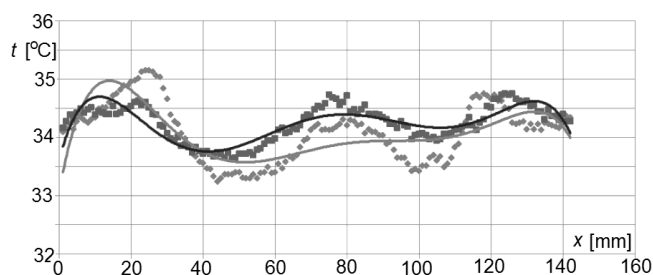
Natomiast w badaniu wykonanym u tego pacjenta po upływie 20 minut od założenia drutu 16/22 NiTi otrzymano następujące wyniki:

- temperatura minimalna 33,5°C,
- temperatura maksymalna 35,3°C,
- temperatura średnia 34,4°C,
- zakres zmian 1,8°C,
- odchylenie standardowe 0,7°C.



Rys. 1. Termogramy wykonane pierwszemu pacjentowi: a) z drutem 16/22 NiTi, b) wykonany po upływie ok. 5 min. z drutem 16/22SS

Fig. 1. Thermograms made for the first patient: a) with the wire 16/22 NiTi, b) made after about 5 minutes with the wire 16/22SS

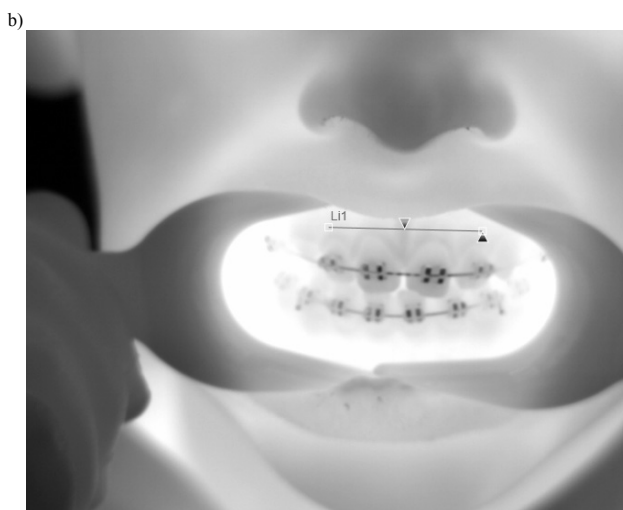
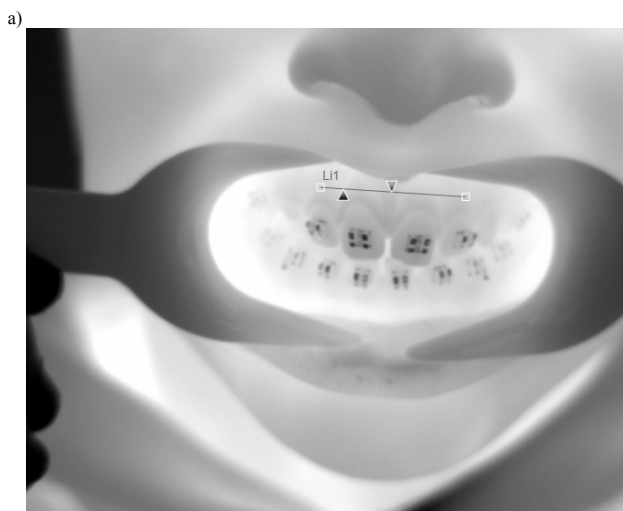


* Rozkład temperatury na powierzchni dziąsła - pomiar początkowy
— Aproksymacja wielomianem 6-tego rzędu
■ Rozkład temperatury na powierzchni dziąsła - po 5 minutach
— Aproksymacja wielomianem 6-tego rzędu

Rys. 2. Rozkład temperatury na powierzchni dziąsła pierwszego pacjenta
Fig. 2. Temperature distribution on the surface of the first patient's gums

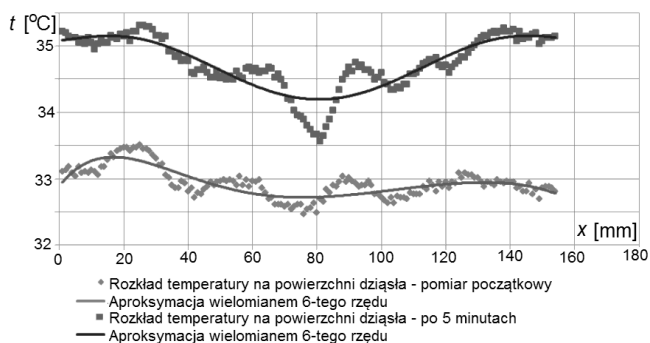
Rozkład temperatury na powierzchni dziąsła drugiego pierwszego pacjenta w obu pomiarach przedstawiono na rysunku 4.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że na termogramie uzyskanym z badania po upływie czasu około 20 minut od założenia drutu wystąpiło większe zróżnicowanie rozkładu temperatury na analizowanym obszarze dziąsła. W stosunku do badania początkowego wartość średnia temperatury w przypadku badania wykonanego po upływie ok. 20 minut była wyższa o około 1,5°C.



Rys. 3. Termogramy wykonane drugiemu pacjentowi: a) po zdjęciu drutu 0,16 NiTi, b) po upływie ok. 20 min. po założeniu drutu 16/22SS

Fig. 3. Thermograms made for the second patient: a) after removing the wire 0.16 NiTi, b) made after about 20 minutes with 16/22SS wire put on



Rys. 4. Rozkład temperatury na powierzchni dziąsła drugiego pacjenta
Fig. 4. Temperature distribution on the surface of the second patient's gums



4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych i analizy ich wyników można stwierdzić, że w przypadku pomiarów wykonanych po upływie około 5 minut od badania początkowego trudno zaobserwować zmiany wartości średnich temperatury. Dopiero po upływie ok. 20 minut zaobserwowano zmianę wartości średnich temperatury o około 1,5°C, co oznacza, że należałoby wydłużyć przedziały czasu, po których wykonywane będą badania. Większe zróżnicowanie rozkładu temperatury na analizowanych obszarach, uzyskanych z badania po upływie czasu około 5 minut w stosunku do badania początkowego mogło wynikać z obecności ciała obcego (np. łuku, zamka ortodontycznego), którego temperatura początkowa była inna niż temperatura wewnątrz ust. Na tej podstawie sformułowano wniosek, że należy wydłużyć przedziały czasu, po których wykonywane będą badania. Ponadto badanie termograficzne wykazało zmiany przepływu krwi w dziąśle już bezpośrednio po zastosowaniu siły ortodontycznej co można wykorzystać do monitorowania przejściowych procesów zapalnych w obrębie dziąsła w terapii aparatami stałymi. Na podstawie rozkładu temperatury możliwa jest ocena zmian hemodynamicznych w obrębie dziąsła w odniesieniu do różnych typów stosowanych aparatów stałych co pozwoli na opracowanie algorytmu postępowania w określonych sytuacjach klinicznych leczenia ortodontycznego. Jednocześnie należy zaznaczyć, że badanie perfuzji krwi w obrębie dziąsła z wykorzystaniem kamery termowizyjnej jest badaniem nieinwazyjnym o wysokiej czułości, umożliwiającym monitorowanie zmian hemodynamicznych zachodzących w tkankach miękkich.

5. Literatura

- [1] Minkina W. A., Rutkowski P., Wild W. A.: Podstawy pomiarów termowizyjnych. PAK, vol. 1/2000, s. 7-14, 2000.
- [2] Lahiri B. B., Bagavathiappan S., Jayakumar T., John Philip: Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, Volume 55, Issue 4, pages 221-235, 2012.
- [3] Zaborowski P., Żmuda S., Trykowski J., Dąbrowski M., Dulski R.: Termowizyjna metoda określania przyrostu i rozkładu temperatury twardych tkanek zęba w trakcie oddziaływania urządzeń dentystycznych. *Stomatologia Współczesna* nr. 4, 2, s. 128-132, 1997.
- [4] Howell KJ, Smith RE. Guidelines for specifying and testing a thermal camera for medical applications. *Thermology Int.*, vol. 19, p. 5-12, 2009.
- [5] Howell KJ, Martini G, Murray KJ, Smith RE, Black CM: Infrared thermography for the assessment of localised scleroderma in children. *Thermology Int.* vol. 10, p. 204-209, 2000.
- [6] Mörmann Wh, Bösigur P, Grau P, Scaroni F: The thermodynamic behavior of labial gingiva in patients with destructive periodontal disease. Vol. 12, 6, p. 477-493, 1985.
- [7] Breznik N, Wasserstein A: Orthodontically induced inflammatory root resorption, Part I: the basic science aspects. *The Angle Orthodontist*, vol. 72, p. 175-179, 2002.

otrzymano / received: 25.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Szanowni Autorzy artykułów publikowanych w PAK

W trosce o jak najwyższy poziom punktacji miesięcznika PAK zwracam się z prośbą o cytowanie artykułów opublikowanych w PAK w innych artykułach, zwłaszcza tych publikowanych w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Ma to bezpośredni wpływ na współczynnik IF (Impact Factor) miesięcznika PAK.

W algorytmach oceny czasopism współczynnik IF ma największą wagę. Na zwiększenie wartości współczynnika IF redakcja czasopisma nie ma żadnego wpływu, ale wszystko zależy od Autorów cytujących. W przypadku miesięcznika PAK aktualnie każde cytowanie zwiększa IF o około 0,002. Oczywiście cytowanie artykułu tylko wtedy jest uzasadnione, jeżeli jest on tematycznie związany z artykułem cytującym, a autor korzystał z niego przy przygotowaniu pracy.

Aby ułatwić Autorom korzystanie z artykułów opublikowanych w PAK (a także możliwość cytowania) została opracowana przez redakcję PAK „Wyszukiwarka”, umożliwiająca wyszukiwanie artykułów według nazwiska autora, słowa tytułu artykułu, albo frazy kluczowej.

Aby skorzystać z „Wyszukiwarki” należy:

- wejść na stronę: www.pak.info.pl
- w menu „Wyszukiwarka” (po lewej stronie ekranu) wybrać „Artykuły”.

Strona zawiera również szereg innych łatwo dostępnych funkcjonalności, m.in. wykazy artykułów opublikowanych w PAK, a cytowanych w artykułach opublikowanych w czasopiśmie z listy filadelfijskiej.

Zdaję sobie sprawę, że redakcje niektórych czasopism usuwają cytowania artykułów publikowanych w czasopiśmie spoza listy filadelfijskiej, np. argumentując, że są one mało dostępne. Taka argumentacja będzie mniej uzasadniona, jeżeli tytuł naszego miesięcznika oraz tytuły artykułów będą podane w cytowaniach w języku angielskim. Proszę zauważyć, że oficjalny tytuł anglojęzyczny miesięcznika PAK (występujący na okładce) ma formę: Measurement, Automation and Monitoring (MA&M), a wszystkie artykuły naukowe publikowane w PAK są napisane albo w języku angielskim, albo mają rozszerzone abstrakty w tym języku.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK