

Dominik Dziadek^{3,4} **Dominik Sieroń**^{1,2}

¹INVENTMED Sp. z o.o., ² Department of Radiology, Division City and County Hospitals, INSELGROUP, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Switzerland,

³Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, 44-100 Gliwice, ul. Bolesława Krzywoustego 2,

⁴Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Oddział Gliwicki, Studenckie Koło Naukowe przy Politechnice Śląskiej

NOWOCZESNE, DOSTĘPNE METODY FIZYKALNE WYKORZYSTYWANE W LECZENIU OWRZODZEŃ PODUDZI - PRZEGLĄD LITERATUROWY

MODERN, AVAILABLE PHYSICAL METHODS USED IN THE TREATMENT OF LEG ULCERS - A LITERATURE REVIEW

Streszczenie: Problemem współczesnej medycyny pozostaje leczenie przewlekłych ran, zwłaszcza kończyn dolnych, będących najczęściej skutkiem choroby cukrzycowej, chorób naczyń żylnych i tętniczych oraz problemów z profilaktyką żywienia i niezdrowym trybem życia, co prowadzi w Polsce do ponad 10 000 amputacji rocznie. Amputacja kończyn znacząco obniża jakość życia pacjenta oraz zwiększa koszty leczenia. Obecnie poszukuje się środków, które skutecznie leczą niegojące się rany podudzi. Przedmiotem opracowania jest omówienie nowoczesnych metod fizykalnych w terapii medycznej oraz ocena ich skuteczności na podstawie analizy dostępnej literatury. Pod uwagę wzięto opracowania historyczne dotyczące podstawowych praw fizykochemicznych oraz opracowania z ostatnich 10 lat, w których omawiane są poszczególne aplikacje terapeutyczne. W artykule tym znajdują się podstawowe informacje na temat parametrów pracy urządzeń biomedycznych, w których stosuje się: światłoterapię, magnetoterapię, tlenoterapię oraz ozonoterapię. Omawiana literatura wskazuje, że w obliczu systematycznie zwiększającego się problemu choroby cukrzycowej, a co za tym idzie wzrostu liczby wystąpienia stopy cukrzycowej, terapie fizykalne realizowane przez urządzenia nowego typu mogą być skuteczną formą wspierającą konwencjonalną terapię i mogą odegrać kluczowe znaczenie przy ratowaniu kończyn przed amputacją.

Abstract: Problem of modern medicine remains the treatment of chronic wounds, especially the lower limbs, which are most often the result of diabetic disease, venous and arterial disease as well as nutritional deficiencies and unhealthy lifestyle, which leads to over 10,000 amputations per year in Poland. Limb amputation significantly reduces the patients' quality of life and increases treatment costs. At present, effective treatments of non-healing lower limb wounds are still being sought. The subject of the study is to discuss modern physical methods in medical therapy and assess their effectiveness on the basis of analysis of available literature. Historical studies on basic physiobiomedical laws and studies from the last 10 years in which individual therapeutic applications are discussed were taken into account. This article contains basic information on the parameters of biomedical devices that use: light therapy, magnetotherapy, oxygen therapy and ozone therapy. The literature discussed indicates that in the face of the systematically increasing problem of diabetic disease, and thus the increase in the number of diabetic foot occurrences, physical therapies implemented by new type devices may be an effective form supporting conventional therapy and may play a key role in saving limbs from amputation.

Słowa kluczowe: metody fizykalne, miejscowa terapia tlenowa, tlen hiperbaryczny, ozonoterapia, ledoterapia, magnetoterapia

Keywords: physical methods, local oxygen therapy, hyperbaric oxygen, ozone therapy, LLLT, magnetotherapy

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój elektryczności na przełomie XIX i XX wieku, otworzył dla medycyny nowy świat, wcześniej niewykorzystany i nieodkryty, świat związany z wykorzystaniem fizyki w medycynie. Historia współczesnej medycyny to w dużej mierze traktowanie organizmu człowieka jak reaktora chemicznego,

gdzie pod wpływem substancji chemicznych zachodzą określone procesy biochemiczne [1]. Takie podejście w medycynie dominowało do początku XX wieku i wielkich odkryć na polu fizyki, a zwłaszcza elektrotechniki.

Po ponad stu latach rozwoju elektryczności, w medycynie jesteśmy niewiele dalej niż byli

pionierzy terapeutycznego zastosowania środków fizykalnych tacy jak Tesla czy Edison. Wykorzystanie siły elektrycznej w medycynie następuje niemal wyłącznie na gruncie diagnostyki, wyróżniamy tu przede wszystkim rezonans magnetyczny, tomografię komputerową, ultrasonografię, termowizję. Te odkrycia przyczyniły się do postępu medycyny w stopniu nie do przecenienia, natomiast sam proces leczenia nie uległ znacznym zmianom. Organizm człowieka w pojmowaniu współczesnej praktyki medycznej pozostaje reaktorem chemicznym. Ogromne zasługi dla zmiany w tym obszarze ponosi Prof. zw. dr hab. n. med. dr h.c. multi Aleksander Sieroń jako inżynier elektrotechniki i prof. nauk medycznych zgłębia znaczenie czynników fizykalnych dla funkcjonowania organizmu i jest jednym z głównych postulatorów postrzegania ciała człowieka również jako maszyny, która pod wpływem zewnętrznych bodźców fizykalnych, reaguje w korzystny medycznie sposób. Współcześnie najszerzej prowadzi się badania nad oddziaływaniem leczniczym przetworzonej energii elektrycznej i metodami fizykalnymi w postaci światłoterapii, magnetoterapii, tlenoterapii i ozonoterapii w zakresie leczenia ran, głównie związanych z chorobami cywilizacyjnymi takimi jak cukrzyca, poparzeniami i komplikacjami pooperacyjnymi, a w szczególności, ze względu na progresywną dynamikę stopy cukrzycowej [2].

2. Epidemiologia cukrzycy

Na świecie odnotowuje się przyrost osób chorych na cukrzycę, podając za specjalnym raportem WHO z 2016r, liczba osób dotkniętych chorobą cukrzycową wzrosła ze 108 milionów w 1980r. do 422 mln w 2014r. Badacze szacują, że jedynie 40% tego przyrostu wynika ze wzrostu populacji i starzenia [3], oznacza to, że dużą winę za wzrost zachorowalności ponosi nieodpowiednia profilaktyka cukrzycowa związana m.in. ze wzrostem dobrobytu. Jednym z najważniejszych powikłań źle leczonej cukrzycy jest Zespół Stopy Cukrzycowej. Jest to choroba zwyrodnieniowa obejmująca wszystkie tkanki stopy. Podczas jej przebiegu pojawiają się owrzodzenia, martwica i zniekształcenia. Amputacje w wyniku powikłań związane z chorobą cukrzycową stanowią 70% wszystkich wykonywanych amputacji, a szanse na przeżycie w ciągu kolejnych 4 lat wynoszą 57% (podo-

bnie jak w przypadku choroby nowotworowej) [4],

Tab. 1 Dane na temat cukrzycy, raport WHO

Region WHO	Rozpowszechnienie (%)		Liczba (w milionach)	
	1980	2014	1980	2014
Region Afryki	3,1	7,1	4	25
Region Ameryk	5	8,3	18	62
Region Wschodni Morza Śródziemnego	5,9	13,7	6	43
Region Europejski	5,3	7,3	33	64
Region Południowo-Wschodniej Azji	4,1	8,6	17	96
Region Zachodniego Pacyfiku	4,4	8,4	29	131
Łącznie	4,7	8,5	109	422

natomiast według badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych śmiertelność w okresie 5 lat może wynosić od 53% do 100%. W grupie wiekowej > 65 lat częstotliwość występowania choroby cukrzycowej szacuje się na 25% z czego u 6% wystąpi zespół stopy cukrzycowej [5]. Wraz ze starzeniem i bogaceniem się społeczeństwa problem ten będzie się nasilał.

Amputacji części kończyny dolnej towarzyszy również spadek jakości życia, wśród niedogodności wymienia się tutaj:

- trudności z wykonywaniem codziennych czynności,
- codzienna potrzeba pomocy innych osób,
- ból,
- przeszkody związane z niedostosowaniem infrastruktury do potrzeb osób niepełnosprawnych,
- pogorszenie stanu psychicznego pacjenta,
- obniżone poczucie własnej wartości [6],

W Polsce w latach 2014-2018 zanotowano 23% (7,1 tys. w 2014, 8,7 tys. w 2018) wzrost liczby amputacji u osób dorosłych ze zdiagnozowaną cukrzycą. Ponadto 37% osób w roku poprzedzającym dużą amputację nie udzielono żadnego świadczenia z powodu cukrzycy [7].

3. Przyczyny amputacji

Wśród osób chorych na cukrzycę, najczęściej występuje mieszany typ Zespołu Stopy Cukrzycowej. Łączy on w sobie objawy zarówno neuropatycznej jak i niedokrwiennej stopy cukrzy-

cowej. Do objawów tych należy zaliczyć między innymi: cieńszą skórę, zanik owłosienia, obrzęki, zanik tkanek miękkich, zmniejszenie odczuwania dotyku, bólu, temperatury. [8]. W takich warunkach tkanki nie potrafią się efektywnie regenerować, więc nawet drobny uraz prowadzi do ciężkiej infekcji, z którą organizm nie potrafi sobie poradzić. Lekarz w obliczu braku zadowalających efektów zastosowanych terapii podejmuje decyzję o amputacji.



Rys. 1. Liczba amputacji w Polsce spowodowanych chorobą cukrzycową i jej powikłaniami - dane NFZ

Według prof. Sieronia, specjalisty konsultanta krajowego w dziedzinie angiologii, można zapobiec około 3 tys. amputacji, jeśli podda się chorego terapii metodami fizykalnymi, takimi jak tlen o podwyższonym ciśnieniu, ozon, pole magnetyczne, światło o określonej długości fali.

4. Omówienie nowoczesnych metod terapeutycznych medycyny fizykalnej

Światłoterapia

Jest najstarszą formą wykorzystania promieniowania w zakresie fal widzialnych znaną człowiekowi. Pierwsze wzmianki o helioterapii pochodzą jeszcze ze starożytnej Grecji, gdzie dostrzeżono lecznicze właściwości światła. Jest to również metoda, która najwcześniej się odrodziła we współczesnym świecie medycyny. I tak w XVIII i XX. wieku w Paryżu zalecano ekspozycję chorych na światło słoneczne lecząc choroby układu oddechowego, reumatyzmu, szkorbutu i innych [9]. Po krótkim epizodzie prób wykorzystania promieniowania Rentgenowskiego w celach leczniczych na przełomie XIX i XX. wieku [10] oraz otrzymaniu Nagrody Nobla przez duńskiego lekarza Nielsa Finsena, w 1903r. w dziedzinie medycyny za

opracowanie podstaw fototerapii światłem czerwonym, fioletowym i fioletowo-granatowym [11], metody te rozwijały się powoli, aż do lat 60-tych, kiedy to odkryto promieniowanie laserowe. Podobnie jak po odkryciu promieniowania X, świat nauki intensywnie szukał potencjalnych zastosowań lasera. Na początku podejrzewano, że promieniowanie laserowe ma negatywny wpływ na organizmy żywe. Węgierski naukowiec Endre Mester z Semmelweis University w Budapeszcie w 1967 przeprowadził serię eksperymentów na szczurach mającą zbadać rakotwórczy wpływ ekspozycji skóry na światło lasera. W tym celu wygolił fragmenty szczurzej skóry i poddawał je promieniowaniu laserowemu. Wbrew oczekiwaniom, okazało się, że sierść szczurów poddanych naświetlaniu odrasta szybciej niż tych z grupy kontrolnej, nie stwierdzono przy tym innych skutków ubocznych [12] [13]. To odkrycie otworzyło drogę do dalszego dynamicznego rozwoju tej dyscypliny medycznej [14]. Obecnie literatura szeroko opisuje zastosowania światła czerwonego i podczerwonego, o długości fal w zakresie 600-900nm. Taka długość fali świetlnej, zgodnie z prawami fotobiologii, pozwala przenikać przez komórki w pasmach wysokoabsorbujących. Dla większości tkanek w organizmie głównymi chromoforami są hemoglobina i melanina, posiadające pasma wysokoabsorbcyjne we wspomnianym zakresie.

Badania in-vitro wskazują również na właściwości lecznicze światła w innych barwach, jednak ze względu na powyższe uwarunkowania, na żywy organizm oddziałuje najskuteczniej światło czerwone [15].

W związku z tym często można spotkać urządzenia terapeutyczne bazujące na świetle laserowym lub diodowym o barwie czerwonej. Inną grupą urządzeń, które są powszechnie stosowane w medycynie to urządzenia odkażające, emitujące światło ultrafioletowe stosowane między innymi do leczenia zmian łuszczycowych czy atopowego zapalenia skóry [16].

Ponadto światło o określonych barwach może oddziaływać poprzez receptory światła na stan naszego zdrowia psychicznego. I tak zastosowanie znajduje tu całe spektrum barw światła widzialnego, które poprzez narząd wzroku oddziałuje na pracę mózgu, jednak oddziaływanie to posiada zupełnie odmienną naturę, niż w przypadku bezpośrednio naświetlanej tkanki [17].

Magnetoterapia

W początkowym okresie eksperymentów z wykorzystaniem zmiennego pola magnetycznego w terapii medycznej uważało się, że skutki biologiczne ekspozycji żywego organizmu na oddziaływanie magnetyczne, są osiąmane przede wszystkim poprzez wywołwane przez nie podwyższenie temperatury tkanek, w częstotliwościach radiowych. Dopiero w 1934r. Giensbergowi udało się ograniczyć zjawisko nagrzewania tkanek wystawionych na oddziaływanie pola magnetycznego o ultrakrótkich falach i w ten sposób dowiódł bezpośredniego wpływu pola magnetycznego o częstotliwościach radiowych na procesy zachodzące w żywych tkankach. Wykazał ponadto przyspieszenie gojenia ropiejących ran. Dalsze badania nad wykorzystaniem pola magnetycznego potwierdzają jego efektywność w redukcji bólu i przyspieszeniu procesów angiogennych. [18] Coraz popularniejsze staje się zastosowanie cewek umieszczonych wokół ran pooperacyjnych w celu przyspieszenia rekonwalescencji i zwiększenia ukrwienia danego obszaru [19] [20].

Oddziaływanie magnetyczne na poziomie komórkowym powoduje przede wszystkim stymulację produkcji związków zależnych od wapnia, Calmoduliny (CAM^+). Jest to podstawowy proces komórkowy, który pozwala na rozwój i regenerację tkanek [21].

Badania dowodzą, że do celów terapeutycznych można używać pola magnetycznego o znacznie mniejszych wartościach niż ma to miejsce w przypadku obrazowania rezonansem magnetycznym. W przypadku medycyny obrazowej im wyższa wartość pola magnetycznego (rzędu kilku tesli) tym lepsze parametry obrazu.

W przypadku medycyny terapeutycznej, dzięki odpowiedniemu doborowi częstotliwości pola do impedancji transmembranowej komórek, skuteczne wartości terapeutyczne oscylują wokół kilku militesli. Ta cecha pozwala natomiast konstruować urządzenia małe, bezpieczne i stosunkowo tanie [22].

Tlenoterapia

Obecnie coraz większą popularność zyskuje miejscowa terapia tlenowa, która zaliczana jest do nisko-ciśnieniowych terapii tlenowych. TOT (Topical Hyperbaric Oxygen Therapy) jest skuteczna w przypadku leczenia martwiczych i zgorzelinowych ran, a ponadto jest to jedna z metod, która według autorów, może stać się w przyszłości podstawowym, skutecznym środ-

kiem terapeutycznym, zapobiegającym amputacjom, przyspieszającym gojenie ran [23] [24] [25] [26] [27].

TOT wykazuje kilka przewag względem klasycznej terapii hiperbarycznej, które sprawiają, że miejscowa terapia tlenowa może stać się powszechnym środkiem leczniczym, gdyż jest bezpieczniejsza i tańsza; ze względu na obniżone ciśnienie (1,2-1,3 ATA) zmniejsza się ryzyko zatrucia tlenem, ułatwia zastosowanie leczenia punktowo etc. Zapewnienie większej ilości tlenu tkance w czasie rekonwalescencji jest kluczowym elementem skutecznej terapii. W ranach przewlekłych obserwuje się wysoki gradient tlenu w tkankach, zwłaszcza między centrum rany a jej obrzeżami. Ciśnienie cząsteczkowe tlenu (po_2) zmienia się w przedziale 0-10 mm Hg w środku rany do 60 mm Hg na jej obrzeżach, podczas gdy stężenie po_2 w krwi tętniczej wynosi średnio 100 mm Hg. Dostarczanie dodatkowego tlenu leczonej tkance, jak i inne metody wspomagające natlenienie tkanek, przyspieszają proces leczenia. [28]

Ozonoterapia

Kolejnym środkiem wspomagającym leczenie, jest ozon. Choć jest to gaz występujący w naturze powszechnie, to do celów medycznych używamy go w wyniku poddania suchego powietrza działaniu wyładowań elektrycznych. Ozon, podobnie jak wcześniej wspomniane formy terapeutyczne został odkryty pod koniec XIXw. Nazwa tego związku chemicznego pochodzi od greckiego słowa „zapach”. Ozon ze względu na swój stosunkowo krótki czas rozkładu połowicznego zarówno w powietrzu (około 20 minut), jak i w wodzie (kilka minut) wykazuje znakomite właściwości dezynfekcyjne, w tym antyseptyczne, a przy tym pozostaje stosunkowo bezpieczny dla organizmu.

5. Podsumowanie

Ze względu na złożoność każdej z metod, środowisko medyczne, z prof. A. Sieroniem na czele postuluje opracowywanie urządzeń, które są w stanie zapewnić kilka terapii fizykalnych w jednym czasie, lub następujących po sobie.

Warto zauważyć, że lokalne zabiegi hiperbaryczno-tlenowe, ozonowe, światłoterapia i magnetoterapia są bezbolesne i nie wymagają żadnych specjalnych preparatów - co stanowi istotny aspekt, jeśli chodzi o zachęcanie pacjentów do ich stosowania. Biorąc pod uwagę bardzo krótką listę przeciwwskazań związanych

ze stosowaniem powyższych terapii, ich wysoką skuteczność leczniczą, metoda ta jest cennym uzupełnieniem zabiegowego i farmakologicznego leczenia ran przewlekłych, a w wielu skomplikowanych przypadkach może zapobiegać konieczności wykonania amputacji kończyny [29] [30]. Miejscowe zastosowanie czynników leczniczych minimalizuje ryzyko wystąpienia skutków ubocznych, których do tej pory nie stwierdzono. Prowadzone badania wykazują skuteczność zarówno leczenia trudno gojących się ran kończyn jak i działania przeciwbólowego. Wysoce prawdopodobne, że łącząc wiele bodźców fizycznych, którym poddawana jest zmiana chorobowa, uzyskuje się efekt synergii, znacząco lepsze wyniki terapii niż przy stosowaniu poszczególnych terapii oddzielnie.



Rys. 2. Prototyp multifunkcyjnego urządzenia terapeutycznego

Ponadto zintegrowanie wielu funkcjonalności w jednym urządzeniu sprawia, że różnorodne metody terapii fizykalnych są powszechniej dostępne. Obecnie na rynku dostępne jest tylko jedno urządzenie stworzone przez firmę polski start-up techniki medycznej, które oferuje światłoterapię w paśmie światła czerwonego i ultrafioletowego, magneto terapię do 4 mT zmiennymi polami magnetycznymi o różnych przebiegach czasowych, ozonoterapię oraz miejscową terapię tlenową o podwyższonym ciśnieniu (1,2-1,3 ATA). Wraz z dalszym postępem badań i lepszym poznaniem wpływu czynników fizykalnych na tkanki organizmu żywego, z całą pewnością pojawią się kolejne urządzenia i ich zastosowania, by podwyższać jakość życia i satysfakcję z niego.

Autorzy

Dominik Dziadek, student Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej, członek SEP BSc,MD,Phd Dominik Sieroń, lekarz, specjalista radiolog, doktor nauk medycznych i Ekonomista, wiceprezes zarządu INVENTMED Sp. z o.o.

Literatura

- [1]. G. C. ., A. K.-K. T. B. A. B.-U. M. A. Aleksander Sieroń, „Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie”, *Bielsko Biala: Alfa Medica Press*, 2000.
- [2]. P. D. H. G. C. P. D. H. A. S. DR JAROSŁAW PASEK, „Leczenie powikłań zakrzepicy żył głębokich przy użyciu skojarzonej terapii fizykalnej - opis przypadku”, *Leczenie Ran*, pp. 199-203, Vol. 15 Issue 4 2018.
- [3]. WHO, „Global report on diabetes”, *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*, France, 2016.
- [4]. A. K. E. K. M. S. H.-H. E. A. Z. M. Olm, „Operative Versorgung von Diabetikern mit vaskulären Komplikationen Sekundärdatenanalyse der DRG-Statistik von 2005 bis 2014 in Deutschland”, *Chirurg*, p. 89:545–551, 2018.
- [5]. B. P. C. J. B. N. S. D. C. J. Jakob C. Thorud, „Morality After Nontraumatic Major Amputation Among Patients With Diabetes and Peripheral Vascular Disease: A Systematic Review,” *The Journal of Foot & Ankle Surgery*, pp. 591-599, 2016
- [6]. W. K. Ewa Czuchryta, „Jakość życia chorych po amputacji kończyn dolnych”, *ASPEKTY ZDROWIA I CHOROBY*, pp. 29-37, 2017.
- [7]. Departament Analiz i Strategii, „NFZ o Zdrowiu. Cukrzyca,” Centrala Narodowego Funduszu Zdrowia, Warszawa, 2019.
- [8]. E. N. A. B.-W. Bartosz Wanot, „Amputacja kończyny dolnej jako najcięższe powikłanie cukrzycy,” *Med Rodz*, tom 20, nr 1, pp. 68-73, 2017.
- [9]. A. Z. Łukasz Gryko, „Wykorzystanie diod led w medycynie,” *Katedra Elektroenergetyki, Fotoniki i Techniki Świetlnej, Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka*.
- [10]. K. K. S. Przemysław Słowiński, „Nikola Tesla. Władca piorunów”, *Warszawa: Frona*, 2013.
- [11]. A. W. G. M. R. S.-I. Jolanta Zwolińska, „Wykorzystanie biostymulacji laserowej i światła VIP w leczeniu chorób narządów ruchu,” *Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego*, pp. 275-288, 2007.
- [12]. D. E. M. M. A. F. M. M. A. M. MD, „The biomedical effects of laser application,” *Laser in Surgery and Medicine*, pp. 31-39, 1985.

- [13]. S. B. , G. P. Mester E, „The effect of laser beams on the growth of hair in mice,” *Radiobiologia, Radiotherapia*, pp. 621-626, 1968.
- [14]. H. C. D. K. S.-Y. H. D. C. R. Hamblin, „The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy,” *Annals of Biomedical Engineering*, p. 516–533, February 2012, Volume 40, Issue 2.
- [15]. M. R. Hamblin, „MECHANISMS OF LOW LEVEL LIGHT THERAPY,” *Department of Dermatology, Harvard Medical School*.
- [16]. M. L. M. E. M. Andreas Wollenberg, „Long Term Treatment Concepts and Proactive Therapy for Atopic Eczema,” *Annals of Dermatology*, pp. 253-260., 2012 Aug;24(3).
- [17]. P. G. P. J.-C. D. M. MARY J. ROSS Ph.D., „The Impact of Modulated Color Light,” 2013. [Online].
- [18]. G. AJ, „Ultrashort radiowaves as therapeutic agent,” *Med Record*, pp. 651-653, 1934.
- [19]. W. W. Y. S. C. K. Z. Y. C. G. Kwan RL, „Pulsed electromagnetic field therapy promotes healing and microcirculation of chronic diabetic foot ulcers: a pilot study”.
- [20]. M. G. Aleksander Sieroń, „Wpływ niskozmiennych pól magnetycznych na proces gojenia się ran,” *Balneologia Polska*, pp. 75-81, 1999.
- [21]. M. Berish Strauch, M. Charles Herman i M. Richard Dabb, „Evidence-Based Use of Pulsed Electromagnetic Field Therapy in Clinical Plastic Surge,” *Aesthetic Surgery Journal*, 2009.
- [22]. A.A.Pilla P.R.Nasser J.J.Kaufman, „Gap junction impedance, tissue dielectrics and thermal noise limits for electromagnetic field bioeffects,” *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, pp. 63-69, 1994.
- [23]. K. J. B. V. A. H. Heng MC, „Enhanced healing and cost-effectiveness of low-pressure oxygen therapy in healing necrotic wounds: a feasibility study of technology transfer.,” *Ostomy/wound Management* , pp. 52-60, 2000.
- [24]. P. N. , M. A. , M. E. Tiaka EK, „The role of hyperbaric oxygen in the treatment of diabetic foot ulcers.,” *Angiology* , pp. 302-314, 2011.
- [25]. N. Y. Brimson CH, „The role of oxygen-associated therapies for the healing of chronic wounds, particularly in patients with diabetes.,” *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV* , pp. 411-418, 2012.
- [26]. M. C. H. J. R. R. F. C. Blackman E, „Topical wound oxygen therapy in the treatment of severe diabetic foot ulcers: a prospective controlled study.,” *Ostomy Wound Manage*, pp. 24-31, 2010.
- [27]. M. a. C. K. S. P. Gayle M. Gordillo, „Evidence-Based Recommendations for the Use of Topical Oxygen Therapy in the Treatment of Lower Extremity Wounds,” *Int J Low Extrem Wounds*, 2009.
- [28]. W. A. S. R. P. K. V. B. G. M. W. S. M. , K. Richard B. Fries, „Dermal excisional wound healing in pigs following treatment with topically applied pure oxygen,” *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, pp. 172-181, 2005.
- [29]. J. P. M. P. G. C. Aleksander Sieroń, „Application of local hyperbaric oxygen therapy with use of device laserobaria – s in the treatment of chronic wounds,” *Polish hyperbaric research* 4(57)2016 , 2016.
- [30]. C. G. P. M. J. L. S. A. Pasek J, „[Application of physical therapy procedures in the treatment of chronic wounds of palm fingers - a case report].,” *Pol Merkur Lekarski*, tom 44, nr 260, pp. 68-70, 2018.