

Metody wspomagające leczenie ortodontyczne – przegląd dokonany na podstawie piśmiennictwa

Methods supporting orthodontic treatment – a literature-based review

Justyna Poddębniak **A****B****D****F** (ORCID ID: 0000-0001-6095-1578)

Ewa Sobieska **D****E** (ORCID ID: 0000-0001-6217-6851)

Anna Julia Masłowska-Kasowicz **D****E** (ORCID ID: 0000-0001-9717-3079)

Małgorzata Zadurska **A****B****D****F** (ORCID ID: 0000-0002-7365-7607)

Wkład autorów: **A** Plan badań **B** Zbieranie danych **C** Analiza statystyczna **D** Interpretacja danych **E** Redagowanie pracy **F** Wyszukiwanie piśmiennictwa

Authors' Contribution: **A** Study design **B** Data Collection **C** Statistical Analysis **D** Data Interpretation **E** Manuscript Preparation **F** Literature Search

Zakład Ortodoncji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Orthodontics, Medical University of Warsaw

Streszczenie

Wada zgryzu może negatywnie wpływać na jakość życia człowieka przez pogorszenie estetyki uśmiechu i funkcji narządu żucia oraz obniżenie samooceny. **Cel.** Celem pracy był przegląd najnowszych doniesień dotyczących metod wspomagających leczenie ortodontyczne, z uwzględnieniem metod chirurgicznych i niechirurgicznych. **Materiał i metody.** Dokonano przeglądu piśmiennictwa w języku polskim i angielskim, z wykorzystaniem bazy PubMed z lat 2014–2021, używając słów kluczowych: prostaglandyny, laseroterapia, korytkotomia, piezocyzyja, zakotwienie szkieletowe, mini-płytki, mikroosteoperforacje, zamki samoligaturujące. **Wyniki.** Techniki niechirurgiczne obejmują modyfikacje

Abstract

A malocclusion might have a negative impact on a person's quality of life by impairing the aesthetics of their smile and the function of the masticatory organ, as well as lowering their self-esteem. **Aim.** The aim of this study was to review recent reports on methods supporting orthodontic treatment, including surgical and non-surgical methods. **Material and methods.** A review of the Polish and English literature was conducted using the PubMed database from the years 2014–2021 and the following keywords: prostaglandins, laser therapy, corticotomy, piezocision, skeletal anchorage, miniplates, micro-oosteoperforations, self-ligating brackets. **Results.** Non-surgical techniques include

Adres do korespondencji/Correspondence address:

Justyna Poddębniak
Zakład Ortodoncji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
ul. Binińskiego 6, 02-097 Warszawa
e-mail: justynapoddebniak@gmail.com



Copyright: © 2005 Polish Orthodontic Society. This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

biomechaniki leczenia ortodontycznego przez zastosowanie odpowiednich zamków czy łuków ortodontycznych. Metody biologiczne są związane z miejscową aplikacją mediatorów komórkowych oraz ze wspomaganie leczenia ortodontycznego urządzeniami emitującymi pole elektromagnetyczne, pole magnetyczne, laseroterapię oraz wibracjami. Techniki chirurgiczne obejmują m.in. zabiegi z zakresu fiberotomii, osteotomii, korykotomii, piezocyzi oraz zakotwienie szkieletowe mające na celu skrócenie całkowitego czasu leczenia ortodontycznego i zmniejszenie ryzyka resorpcji zębów. **Wnioski.** Zastosowanie różnych metod przyspieszających leczenie ortodontyczne jest od wielu lat przedmiotem badań. Zarówno ortodonta, jak i pacjenci są zainteresowani skróceniem terapii ze względu na możliwość zmniejszenia ryzyka powikłań (próchnica, resorpcja korzeni, recesje dziąseł) oraz osiągnięcia szybszego i bardziej stabilnego efektu. Nowe techniki związane z pobudzaniem do tworzenia kości pozwalają także leczyć rozległe zaburzenia zgryzu, które wcześniej mogły być korygowane jedynie za pomocą chirurgii ortognatycznej lub ekstrakcji zębów stałych. Jednak wiele z tych metod wymaga jeszcze dalszych badań klinicznych. **(Poddębniak J, Sobieska E, Masłowska-Kasowicz, Zadurska M. Metody wspomagające leczenie ortodontyczne – przegląd dokonany na podstawie piśmiennictwa. Forum Ortod 2021; 17 (4): 286-300).**

Nadesłano: 8.11.2021

Przyjęto do druku: 20.12.2021

<https://doi.org/10.5114/for.2021.112341>

Słowa kluczowe: komórki macierzyste, prostaglandyny, zakotwienie szkieletowe, korykotomia, fiberotomia

Wstęp

W obecnych czasach atrakcyjny wygląd twarzy jest istotny w relacjach międzyludzkich. Wada zgryzu może negatywnie wpływać na jakość życia człowieka przez pogorszenie estetyki uśmiechu i funkcji narządu żucia oraz obniżenie samooceny. Dążenie do poprawy samopoczucia jest często powodem zgłaszania się do lekarza ortodonta. Kompleksowe leczenie ortodontyczne dla wielu dorosłych pacjentów jest trudne do zaakceptowania ze względu na czas jego trwania (około 2–3 lata), towarzyszący dyskomfort i koszty terapii. Od wielu lat poszukuje się skutecznych metod skracających czas leczenia ortodontycznego, minimalizujących konieczność współpracy z pacjentem oraz zmniejszających działania niepożądane związane z przedłużającym się leczeniem ortodontycznym, takie jak próchnica, odwapnienia szkliwa czy resorpcja korzeni zębów. Coraz liczniejszą grupę pacjentów w gabinetach ortodontycznych stanowią dorośli, którzy chcą leczenia szybkiego i niewymagającego dodatkowego zaangażowania. Mogą oni odnieść szczególne korzyści z zastosowania metod

modifikacji do biomechaniki leczenia ortodontycznego przez zastosowanie odpowiednich ortodontycznych zamków czy łuków. Biologiczne metody są związane z miejscową aplikacją mediatorów komórkowych oraz ze wspomaganie leczenia ortodontycznego urządzeniami emitującymi pole elektromagnetyczne, pole magnetyczne, laseroterapię oraz wibracje. Techniki chirurgiczne obejmują m.in. zabiegi z zakresu fiberotomii, osteotomii, korykotomii, piezocizji i szkieletowego zakotwienia, które mają na celu skrócenie całkowitego czasu leczenia ortodontycznego i zmniejszenie ryzyka resorpcji zębów. **Conclusions.** The use of various methods to accelerate orthodontic treatment has been the subject of studies for many years. Both orthodontists and patients are interested in shortening the treatment duration, because the risk of complications (caries, root resorption, gingival recession) may be reduced, and faster and more stable outcomes may be achieved. New techniques providing bone stimulation also make it possible to treat extensive malocclusions that previously could have only been corrected with orthognathic surgery or permanent teeth extraction. However, many of these methods still require further clinical trials. **(Poddębniak J, Sobieska E, Masłowska-Kasowicz, Zadurska M. Methods supporting orthodontic treatment – a literature-based review. Orthod Forum 2021; 17 (4): 286-300).**

Received: 8.11.2021

Accepted: 20.12.2021

<https://doi.org/10.5114/for.2021.112341>

Key words: stem cells, prostaglandins, skeletal anchorage, corticotomy, fiberotomy

Introduction

Nowadays, an attractive facial appearance is important in interpersonal relationships. A malocclusion might have a negative impact on a person's quality of life by impairing the aesthetics of their smile and the function of the masticatory organ, as well as lowering their self-esteem. The desire to feel better is often why patients consult an orthodontist. For many adult patients, complex orthodontic treatment is difficult to accept due to its duration (almost 2–3 years), accompanying discomfort, and the cost of treatment. For many years, effective methods have been sought to shorten the orthodontic treatment duration, minimise the need for patient compliance and reduce the side effects associated with prolonged orthodontic treatment, such as caries, enamel decalcification or tooth root resorption. A growing group of patients seeking orthodontic consultation includes adults who want a fast treatment that requires no additional commitment. They may particularly benefit from methods that accelerate orthodontic treatment, given that local metabolism and bone regeneration rates are significantly slower in adults than in children during the growth period.

przyspieszających leczenie ortodontyczne, zważywszy na fakt, że miejscowy metabolizm i tempo regeneracji tkanki kostnej są zdecydowanie wolniejsze u dorosłych, niż u dzieci w okresie wzrostu.

Cel

Celem pracy był przegląd najnowszych doniesień dotyczących metod wspomagających leczenie ortodontyczne, z uwzględnieniem metod chirurgicznych i niechirurgicznych.

Materiał i metody

Dokonano przeglądu piśmiennictwa w języku polskim i angielskim, z wykorzystaniem bazy PubMed z lat 2014–2021 i używając słów kluczowych: prostaglandyny, laseroterapia, korytkotomia, piezocyzja, fiberotomia, wibracje, zakotwienie szkieletowe, minipłytki, mikroosteoperforacje, zamki samoligaturujące. Wybrano prace, które szczegółowo opisywały nowoczesne metody leczenia, wyłączając metody będące w fazie badań oraz te o niepotwierdzonej korzyści klinicznej.

Wyniki i dyskusja

Skrócenie całkowitego czasu leczenia ortodontycznego jest celem wielu badań klinicznych, do dziś opracowano różne techniki chirurgiczne i mniej inwazyjne – niechirurgiczne.

Techniki niechirurgiczne obejmują modyfikacje biomechaniki leczenia ortodontycznego przez zastosowanie odpowiednich zamków czy łuków ortodontycznych; metody biologiczne są związane z miejscową aplikacją mediatorów komórkowych oraz wspomaganie leczenia ortodontycznego urządzeniami emitującymi pole elektromagnetyczne, pole magnetyczne, laseroterapią oraz wibracjami.

Techniki chirurgiczne obejmują m.in. zabiegi z zakresu fiberotomii, osteotomii, korytkotomii, piezocyzji oraz zakotwienie szkieletowe mające na celu skrócenie całkowitego czasu leczenia ortodontycznego i zmniejszenie ryzyka resorpcji zębów.

Techniki niechirurgiczne przyspieszające leczenie ortodontyczne

Pomimo ogromnego postępu technologicznego obecnego w medycynie ortodontyci nie mogą z niego w pełni korzystać, są bowiem ograniczani odpowiedzią biologiczną podczas ortodontycznego ruchu zęba. W wyniku obciążenia zęba siłą ortodontyczną dochodzi do biochemicznej odpowiedzi adaptacyjnej, polegającej na przemieszczeniu macierzy wewnątrzkomórkowej i zewnątrzkomórkowej, a także do zmiany miejscowego unaczynienia. Przepływ krwi zmniejsza się po stronie kompresyjnej zęba, a zwiększa po stronie naprężenia. Powstaje ostry stan zapalny, a w wyniku zmiany przepływu krwi dochodzi do zaburzenia homeostazy przestrzeni więzadeł przyzębia (PDL). Zmienia się również

Aim

The aim of this study was to review recent reports on methods supporting orthodontic treatment, including surgical and non-surgical methods.

Material and methods

A review of the Polish and English literature was conducted using the PubMed database from the years 2014–2021 and the following keywords: prostaglandins, laser therapy, corticotomy, piezocision, fiberotomy, vibrations, skeletal anchorage, miniplates, micro-osteoperforations, self-ligating brackets. We selected papers that presented in detail modern methods of treatment, excluding methods at the research stage and those with unproven clinical benefits.

Results and discussion

Reducing the total duration of orthodontic treatment has been the goal of many clinical studies, and to date, various surgical and less invasive non-surgical techniques have been developed.

Non-surgical techniques include modifications to the biomechanics of orthodontic treatment through the use of appropriate orthodontic brackets or arches; biological methods are related to the local application of cell mediators and supporting orthodontic treatment with appliances emitting electromagnetic fields, magnetic fields, laser therapy and vibration.

Surgical techniques include, among others, fiberotomy, osteotomy, corticotomy, piezocision and skeletal anchorage to shorten the total duration of orthodontic treatment and reduce the risk of tooth resorption.

Non-surgical techniques to accelerate orthodontic treatment

Despite the enormous technological progress in medicine, orthodontists cannot take full advantage of it because they are limited by the biological response during orthodontic tooth movement. As a result of applying an orthodontic force to a tooth, there is an adaptive biochemical response involving displacement of the intracellular and extracellular matrix, as well as a change in local vascularisation. Blood flow decreases on the tooth's compression side, and increases on the tension side. Acute inflammation develops, and altered blood flow disturbs the homeostasis of the periodontal ligament (PDL) space. The ratio of oxygen to carbon dioxide (O₂/CO₂) levels is also altered, and leukocytes release an inflammatory cascade, namely prostaglandins (PG₂), cytokines (interleukin IL-1beta), receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand (RANK ligand), osteoprotegerin (OPG), tissue necrosis factors (INF-alpha), and protease. A few days later, acute inflammation progresses into chronic inflammation. Inflammatory mediators

stosunek stężenia tlenu do dwutlenku węgla (O₂/CO₂) oraz dochodzi do uwolnienia przez leukocyty kaskady zapalnej, czyli prostaglandyn (PG₂), cytokin (interleukina IL-1beta), aktywatora receptora liganda czynnika jądrowego kappa B (liganda RANK), osteoprotegeryny (OPG), czynników martwicy tkanek (INF-alfa) oraz proteazy. Po kilku dniach ostry stan zapalny przechodzi w przewlekły. Mediatorzy procesu zapalnego wpływają na aktywność komórkową, prowadząc do resorpcji kości po stronie kompresji i apozycji po stronie naprężenia (1). W zależności od wielkości siły przyłożonej do zęba, różna jest odpowiedź komórkowa. Duża siła powoduje spowolnienie różnicowania osteoklastów, co osłabia (opóźnia) proces resorpcji i ruch zęba odbywa się dopiero po 7–14 dniach. Po przyłożeniu niewielkiej siły ruch zęba rozpoczyna się już po około 2 dniach na skutek resorpcji blaszki twardej kości przez osteoklasty, przy jednoczesnej proliferacji komórek, inicjowanej przez fibroblasty, osteoblasty i komórki śródbłonna. Optymalna siła ortodontyczna to taka, która prowadzi do maksymalnego tempa ruchu zęba przy minimalnym nieodwracalnym uszkodzeniu korzenia, więzadeł przyzębia i kości wyrostka zębodołowego. Jest ona różna dla każdego zęba i dla każdego pacjenta (2).

Kontrola wytworzonego stanu zapalnego podczas ruchu ortodontycznego zęba jest ważna dla lekarza, ponieważ rozregulowany stan zapalny, związany z nadmiernym wytwarzaniem cytokin, może doprowadzić do resorpcji korzeni oraz patologii przyzębia. A zatem proces zapalny, który jest sprzymierzeńcem na początku leczenia, może stać się jego wrogiem. Resorpcja korzeni indukowana ortodontycznie powinna ograniczać się tylko do kości i tkanek przyzębia (1, 2).

Szczegółowe poznanie biomechaniki ortodontycznego ruchu zęba zainicjowało wiele badań z udziałem środków farmakologicznych, mogących mieć wpływ na przyspieszenie lub zahamowanie (zwiększenie zakotwienia) przemieszczania zębów. Metody te wydają się być dobrą alternatywą dla inwazyjnych metod chirurgicznych.

Mediatorami stanu zapalnego, które uwalniają się podczas ruchu ortodontycznego zęba, są m.in. prostaglandyny (PGE), będące produktem metabolizmu kwasu arachidonowego przy udziale cyklooksygenazy-2 (COX-2). Prostaglandyny działają na osteoklasty, zwiększając ich działanie resorpcyjne, stymulują ekspresję RANKL (aktywator receptora liganda czynnika jądrowego kappa B) i OPG (osteoprotegeryna) (3). Są uwalniane w kilka sekund po uszkodzeniu komórki, będąc mediatorami zapalenia dziąseł i resorpcji kości wyrostka zębodołowego. W piśmiennictwie można znaleźć różne doniesienia o wpływie prostaglandyn na tempo przemieszczeń zębów podczas leczenia ortodontycznego. Ngan i wsp. w swoich pracach dowiedli, że ekspresja prostaglandyn wzrosła w PDL i kości wyrostka zębodołowego podczas leczenia ortodontycznego (4). Eltimamy i wsp. przeprowadzili badanie, w którym ocenili, makroskopowo i radiograficznie, kliniczne zastosowanie prostaglandyny (PGE1) w ortodontycznym ruchu zębów (5).

affect cellular activity, leading to bone resorption on the compression side and apposition on the tension side (1). Depending on the amount of force applied to a tooth, the cellular response varies. A high force slows down osteoclast differentiation, which weakens (delays) the resorption process and a tooth movement takes place only 7–14 days later. When a low force is applied, a tooth movement begins after about two days due to resorption of the compact plate of the bone by osteoclasts with simultaneous cell proliferation initiated by fibroblasts, osteoblasts and endothelial cells. An optimal orthodontic force is such, which leads to the maximum rate of tooth movement with minimal irreversible damage to the root, periodontal ligaments and alveolar bone. It is different for each tooth and for each patient (2).

For a physician, it is essential to control inflammation produced during orthodontic tooth movement because dysregulated inflammation, associated with excessive cytokine production, can lead to root resorption and periodontal pathologies. Therefore, the inflammatory process, which is an ally at the beginning of treatment, can become its enemy. Orthodontically induced root resorption should only be limited to the bone and periodontal tissues (1, 2).

Detailed understanding of the biomechanics of orthodontic tooth movement has initiated many studies involving pharmacological agents that may have an effect on accelerating or inhibiting (increasing anchorage) tooth movement. These methods seem to be a good alternative to invasive surgical methods.

Inflammatory mediators that are released during orthodontic tooth movement include prostaglandins (PGE), which are products of arachidonic acid metabolism by cyclooxygenase-2 (COX-2). Prostaglandins act on osteoclasts to increase their resorptive activity and stimulate the expression of RANKL (receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand) and OPG (osteoprotegerin) (3). They are released within seconds after cell damage, and they are mediators of gingivitis and alveolar bone resorption. The literature shows various reports about the effects of prostaglandins on the rate of tooth displacement during orthodontic treatment. In their papers, Ngan et al. demonstrated that prostaglandin expression increased in PDL and alveolar bone during orthodontic treatment (4). Eltimamy et al. conducted a study that evaluated, macroscopically and radiographically, the clinical use of prostaglandin (PGE1) in orthodontic tooth movement (5). They showed a marked increase in orthodontic tooth movement, while they did not observe any side effects in the periodontium or bone after using prostaglandins. Studies with patients taking non-steroid anti-inflammatory drugs (NSAIDs) as analgesics support prostaglandins' effects on orthodontic treatment. In these cases, the orthodontic tooth movement is slowed down due to the inhibition of prostaglandin production, which has also been shown in animal studies (6).

Wykazali wyraźny wzrost ruchu ortodontycznego zęba, nie zaobserwowali natomiast żadnych skutków ubocznych w przyzębiu oraz w kości po użyciu prostaglandyn. Wpływ prostaglandyn na leczenie ortodontyczne potwierdzają też badania z udziałem pacjentów, którzy przyjmują przeciwbólowo niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ). W tych przypadkach dochodzi do spowolnienia ruchu ortodontycznego zęba na skutek hamowania produkcji prostaglandyn, co wykazano również w badaniach na zwierzętach (6).

W literaturze są również dostępne badania oceniające wpływ działania prostaglandyn po ich bezpośredniej aplikacji do kieszonki dziąsłowej. Arqub i wsp. zbadali działanie różnych czynników biologicznych na szybkość ruchu ortodontycznego zębów, m.in. prostaglandyn E1 oraz witamin D i C. Na podstawie wyników badań stwierdzili oni, że miejscowa aplikacja prostaglandyny E1 wywarła pozytywny wpływ na tempo przemieszczania się zębów, mimo podawania różnych jej stężeń, różnych częstości iniekcji oraz różnych czasów obserwacji. Spośród ocenianych w tym badaniu czynników biologicznych prostaglandyny mają największe znaczenie w akceleracji ruchu ortodontycznego zębów, ponieważ stymulują zarówno osteoklasty, jak i osteoblasty. Prostaglandyny E1 podnoszą również poziom metaloproteinaz i prowadzą do zmniejszenia produkcji prokolagenu, który jest niezbędny do przebudowy kości i więzadeł przyzębia. Witamina D odgrywa ważną rolę w homeostazie wapnia i stanowi silny modulator metabolizmu kości. Potwierdzono zmienne działanie witaminy D, zależne od dawki i stężenia. Dostępne w piśmiennictwie sprzeczne doniesienia między badaniami nad wpływem witaminy D na przyspieszenie ruchu ortodontycznego zęba można przypisać temu, że w badaniach tych były stosowane różne stężenia witaminy D. Kwas askorbinowy (witamina C) wpływa na osteogenezę i organizację więzadeł przyzębia. Niedobór witaminy C hamuje wyżej wymienione procesy oraz wpływa negatywnie na degradację i regenerację włókien kolagenowych, które odgrywają ważną rolę w ortodontycznym ruchu zęba. Na podstawie badań potwierdzono korzystny wpływ miejscowego podania witaminy C na szybkość przesunięć zębów. Jednak z powodu małej liczebności próby wskazane jest przeprowadzenie większej liczby badań klinicznych w celu uzyskania obiektywnych wniosków (7).

Bardzo obiecujące dla lekarzy ortodontów było wprowadzenie do leczenia stałymi aparatami zamków samoligaturujących. Twórcy systemów obiecywali znaczne skrócenie czasu terapii i wyeliminowanie ekstrakcji zębów stałych podczas leczenia stłoczeń. Nie brakowało również sceptyków i z tego powodu istnieją liczne badania oceniające skuteczność i wydajność zamków samoligaturujących, w porównaniu z konwencjonalnymi zamkami. Dehbi i wsp. dokonali systematycznego przeglądu literatury naukowej dotyczącej tego tematu (8). Wzięli pod uwagę szeregowanie zębów, zamykanie przestrzeni, ekspansje, czas trwania leczenia i stopień dyskomfortu pacjenta. Analizowane badania wykazały brak

The literature also shows studies evaluating the effects of prostaglandins after their direct application into the gingival pocket. Arqub et al. studied the effects of various biological factors on the orthodontic tooth movement rate, such as prostaglandins E1 and vitamins D and C. Based on study findings, they concluded that local application of prostaglandin E1 had a positive effect on the tooth movement rate despite the administration of different levels of prostaglandin, different injection frequencies, and different follow-up duration. In a group of biological factors evaluated in this study, prostaglandins are the most important in accelerating orthodontic tooth movement because they stimulate both osteoclasts and osteoblasts. Prostaglandins E1 also increase the metalloproteinase levels and lead to decreased production of procollagen, which is essential for periodontal bone and ligament remodelling. Vitamin D plays a vital role in calcium homeostasis and is a potent modulator of bone metabolism. Variable dose- and level-dependent effects of vitamin D have been confirmed. In the literature, there are conflicting reports available between studies on the effects of vitamin D on accelerating orthodontic tooth movement, and it may be attributed to the fact that different vitamin D levels were used in these studies. Ascorbic acid (vitamin C) affects osteogenesis and periodontal ligament organisation. Vitamin C deficiency inhibits the processes mentioned above and negatively affects the degradation and regeneration of collagen fibres, which play an essential role in orthodontic tooth movement. Studies confirmed the beneficial effects of local administration of vitamin C on the tooth displacement rate. However, due to the small sample size, more clinical trials are recommended in order to obtain objective conclusions (7).

The introduction of self-ligating brackets into treatment with fixed braces has been promising for orthodontists. The developers of these systems promised a significant reduction in treatment duration and the elimination of permanent teeth extraction during crowding treatment. There have also been few sceptics, and for this reason, numerous studies are evaluating the effectiveness and performance of self-ligating brackets compared to conventional brackets. Dehbi et al. performed a systematic review of scientific literature on this subject (8). They considered tooth order, space closure, expansions, treatment duration and patient discomfort. The studies analysed showed no significant differences between studied bracket systems based on the clinical criteria, thus contradicting the hypothesis of the superiority of self-ligating brackets over conventional systems. In contrast, Aras et al. compared the degree of root resorption of incisors during treatment with self-ligating and conventional brackets (9). The study was conducted in 32 patients using CBCT scans taken before and at the end of orthodontic treatment and showed that both groups had similar root volume loss on medial and lateral incisors. Based on the results of their studies, the authors concluded that the superiority of

Methods supporting orthodontic treatment – a literature-based review

istotnych różnic pomiędzy systemami badanych zamków, na podstawie przyjętych kryteriów klinicznych, zaprzeczając tym samym hipotezie o wyższości zamków samoligaturujących nad systemami konwencjonalnymi. Natomiast Aras i wsp. porównali stopień resorpcji korzeni zębów siecznych powstałej podczas leczenia zamkami samoligaturującymi i konwencjonalnymi (9). Badanie przeprowadzono u 32 pacjentów z użyciem skanów CBCT wykonanych przed i pod koniec leczenia ortodontycznego i wykazano, że w obu grupach występowały zbliżone ubytki objętości korzenia na siekaczach przyśrodkowych i bocznych. Na podstawie wyników badań autorzy doszli do wniosku, że nie można jednoznacznie stwierdzić wyższości jednego systemu zamków nad drugim.

Innym argumentem, którego używają producenci systemów samoligaturujących, przekonując o ich lepszej skuteczności od tradycyjnych, jest mniejsze tarcie podczas przemieszczania zębów. Szczupakowski i wsp. zbadali tarcie występujące w różnych kombinacjach zamków (konwencjonalnych i samoligaturujących), łuków i ligatur (elastycznych i metalowych) podczas retrakcji kłów (10). Wyniki ich badań pokazały, że wartości tarcia różnią się znacznie w zależności od kombinacji, ale różnice w wartościach tarcia między zamkami samoligaturującymi a systemami konwencjonalnymi z zastosowaniem ligatur metalowych były niewielkie. Zaprzecza to opinii o przewadze leczenia zamkami samoligaturującymi nad wykorzystaniem tradycyjnych metod.

Niechirurgiczną metodą przyspieszenia ortodontycznego ruchu zęba jest fotobiomodulacja, czyli zastosowanie lasera o niskiej częstotliwości (LLLT- Low Level Laser Therapy). Polega ona na miejscowej aplikacji światła podczerwonego o niskiej mocy i energii. Na skutek stymulacji laserem dochodzi do wzmożonej syntezy białek, cytokin i czynników zapalnych w tkankach poddawanych ekspozycji. Kluczowy w tym procesie jest wzrost odpowiadających za resorpcję i tworzenie kości osteoklastów i osteoblastów przez wzrost występowania receptora aktywatora jądrowego czynnika kappa B (Receptor Activator of Nuclear Factor Kappa B; RANKL) w więzadle ozębnej i płynie kieszonki dziąsłowej (11).

W procesie fotobiomodulacji dochodzi do pobudzenia syntezy ATP (adenozynotrójfosforanu) przez aktywację łańcucha transportu elektronów. Promieniowanie laserowe o niskiej energii posiada właściwości regeneracyjne, dlatego jest aplikowane również w leczeniu bólu poekstrakcyjnego, aft nawrotowych czy w terapii schorzeń stawu skroniowo-żuchwowego. Wyniki opublikowanych badań dotyczących działania LLLT są niejednoznaczne. Guram i wsp. dowiedli prawie dwukrotnego wzrostu szybkości retrakcji kłów w grupie wspomaganej laserem, w porównaniu do grupy kontrolnej (12). Podobnie Qamruddin i wsp., którzy w swoich badaniach podzielili łuk szczęki na grupę badaną i grupę kontrolną (13). Po 9 tygodniach tempo ruchu ortodontycznego kła było ponad dwa razy większe po stronie poddanej działaniu lasera, w porównaniu ze stroną kontrolną. Również

one bracket system over another could not have been unequivocally stated.

Another argument used by manufacturers of self-ligating systems to convince that they are more effective than traditional ones is less friction during tooth movement. Szczupakowski et al. investigated friction occurring in different combinations of brackets (conventional and self-ligating), arches and ligatures (elastic and metal) during canine retraction (10). The results of their studies showed that friction values varied considerably between combinations, but the differences in friction values between self-ligating brackets and conventional systems using metal ligatures were small. This contradicts the opinion that treatment with self-ligating brackets is superior to the use of traditional methods.

A non-surgical method of accelerating orthodontic tooth movement is photobiomodulation, namely the use of low-level laser therapy (LLLT). It involves the local application of infrared light of low power and energy. As a result of laser stimulation, the synthesis of proteins, cytokines and inflammatory factors increases in the tissues exposed. The key to this process is an increase of osteoclasts and osteoblasts responsible for bone resorption and formation thanks to increased levels of receptor activator of nuclear factor kappa B (RANKL) in the periodontal ligament and gingival pocket fluid (11).

During photobiomodulation, the activation of the electron transport chain stimulates the ATP (adenosine triphosphate) synthesis. Low-level laser therapy has regenerative properties; therefore, it is also applied in the treatment of post-extraction pain, recurrent aphthae or temporomandibular joint disorders. The results of published studies on the effects of LLLT are inconclusive. Guram et al. demonstrated an almost twofold increase in the canine retraction rate in the laser-treated group compared to the control group (12). The results of Qamruddin et al. were similar, and they divided the maxillary arch into the study and control groups in their research (13). After nine weeks, the rate of orthodontic canine movement was more than double on the laser-treated side compared with the control side. Also, Cruz et al. evaluated the tooth movement rate in 11 orthodontically treated patients over two months and showed a significant acceleration of canine retraction in the laser-treated group (14). In another study, conducted by Nahas et al., photobiomodulation was used to treat incisor crowding in the mandible. The authors observed that the orthodontic treatment duration in the laser-treated group was reduced by 22% (15). Cornshaw et al. obtained similar results. Studies have confirmed that laser phototherapy accelerates orthodontic tooth movement. Measurements used in animal studies included a histological assessment of bones, osteoclast and osteoblast proliferation and changes in the number of inflammatory cells, and activity of cytokines involved in bone remodelling (osteoprotegerin and RANKL). They showed

Cruz i wsp. oceniali tempo ruchu zębów u 11 pacjentów leczonych ortodontycznie przez okres 2 miesięcy i wykazali znaczne przyspieszenie retrakcji kłów w grupie leczonej laserem (14). W innym badaniu, przeprowadzonym przez Nahas i wsp., fotobiomodulacja została zastosowana w leczeniu stłoczeń siekaczy w żuchwie. W grupie poddanej naświetlaniu laserem zaobserwowano skrócenie leczenia ortodontycznego o 22% (15). Podobne wyniki uzyskali Cornshaw i wsp. Badania potwierdziły, że fototerapia laserem przyspiesza ruch ortodontyczny zęba. Pomiaru stosowane w badaniach na zwierzętach obejmowały ocenę histologiczną kości, proliferację osteoklastów i osteoblastów oraz zmiany liczby komórek zapalnych, a także aktywność cytokin zaangażowanych w przebudowę kości (osteoprotegeryna i RANKL). Wykazały one, że zastosowanie laserów o długości fali 650–940 nm zwiększa szybkość ruchu ortodontycznego zębów od dwóch do trzech razy, w porównaniu do grupy kontrolnej. Wyniki są obiecujące, jednakże wymagają dalszych badań klinicznych (16).

W piśmiennictwie dostępne są również badania, w których autorzy nie potwierdzają istotnie statystycznych różnic w zwiększeniu szybkości ortodontycznego ruchu zęba przy zastosowaniu fotobiomodulacji. Zespół badaczy z Tajlandii ocenił szybkość retrakcji kłów w miejsce po usuniętych pierwszych przedtrzonowcach u 12 młodych pacjentów. Po stronie testowej naświetlano laserem błonę śluzową okolicy kła policzkowo i podniebiennie, po stronie kontrolnej wykonywano pseudoaplikację, a następnie za pomocą mikroskopu stereoskopowego mierzono przemieszczenia kłów. Wyniki badań nie wykazały istotnej różnicy w dystalizacji kła między stroną naświetlaną a kontrolną (17).

W badaniach Marquezana i wsp. oceniano wpływ laseroterapii o niskiej intensywności (laser diodowy o długości fali 830 nm) na tempo dystalizacji zębów trzonowych. Zastosowano dwa różne protokoły aplikacji – jeden z codziennym naświetlaniem, drugi z naświetlaniem tylko we wczesnych stadiach leczenia. Następnie w 2. i 7. dniu ruchu zęba przeprowadzono pomiary. Wyniki badań przemieszczeń zębów nie wykazały istotnych różnic w 2. i 7. dniu doświadczenia (18). Do podobnych wniosków doszli Chung i wsp. Zbadali oni 17 łuków zębowych u 11 pacjentów podczas zamykania przestrzeni w miejscu symetrycznych ekstrakcji. Po jednej stronie łuku stosowano fototerapię, podczas gdy strona przeciwna stanowiła grupę kontrolną. Obserwacje prowadzono przez 3 miesiące i ich wyniki nie wykazały znaczących zmian w tempie przesunięć zębów w obu grupach pacjentów (19).

Wyniki dotyczące skuteczności działania lasera w różnych projektach badawczych są niejednoznaczne. Może to wynikać z zastosowania różnych urządzeń emitujących promieniowanie laserowe, różnej długości emitowanej fali oraz czasu ekspozycji, więc z pewnością wymaga dalszych badań klinicznych.

Dodatkową metodą mogącą mieć wpływ na ortodontyczny ruch zęba jest vibracja. Harigome i wsp. wykazali, że stymulacja przemieszczeń zębów podczas leczenia ortodontycznego

that using 650–940 nm lasers increases the orthodontic tooth movement rate by two to three times, compared to the control group. The results are promising; however, they require further clinical trials (16).

In the literature, there are also studies in which the authors do not confirm statistically significant differences in increasing the orthodontic tooth movement rate with photobiomodulation. A team of researchers from Thailand evaluated the canine retraction rate in place of removed first premolars in 12 young patients. On the study side, laser therapy was applied to the mucosa of the canine region buccally and palatally; on the control side, a sham application was performed, and canine displacement was measured using a stereoscopic microscope. The results showed no significant difference in canine distalisation between the treated and control sides (17).

Studies by Marquezan et al. evaluated the effects of low-level laser therapy (a diode laser with a wavelength of 830 nm) on the molar distalisation rate. Two different application protocols were used – one with daily laser therapy and the other with laser therapy only in the early stages of treatment. Measurements were performed on Day 2 and Day 7 of tooth movement. The results of tooth displacement studies showed no significant differences on Day 2 and 7 of the experiment (18). Chung et al. had similar conclusions. They examined 17 dental arches in 11 patients during space closure at the site of symmetric extractions. One side of the arch was treated with phototherapy, while the opposite side was the control group. Follow-up lasted three months, and the results showed no significant changes in the tooth displacement rate in both groups of patients (19).

The results of laser performance in different study designs are inconclusive. This may be due to the use of different laser emitting devices, different wavelengths of the emitted wavelength, and exposure duration, so it certainly requires further clinical studies.

Vibration is an additional method that can affect orthodontic tooth movement. Harigome et al. showed that stimulation of tooth displacement during orthodontic treatment with cyclic forces of 60 Hz at intervals of several days increased the levels of inflammatory factors in the periodontium, thereby accelerating tooth movement and reducing the total treatment duration (20).

Surgical techniques to accelerate orthodontic treatment

In addition to non-surgical methods, more invasive surgical methods, such as corticotomy, are used to reduce orthodontic treatment duration and minimise the side effects associated with long-term orthodontic treatment.

Corticotomy, as a procedure to facilitate orthodontic tooth movement, was introduced in 1959 by Kole and further refined in 2001 by Wilcko et al. (21). This is a procedure that creates shallow perforations or incisions in the cortical layer of the alveolar bone, while the trabecular and marrow bone

za pomocą cyklicznych sił o wartości 60 Hz w odstępach kilkudniowych zwiększyła wystąpienie czynników zapalnych w przyzębiu, a tym samym przyspieszyła ruch zębów i skróciła całkowity czas leczenia (20).

Chirurgiczne techniki przyspieszające leczenie ortodontyczne

W celu skrócenia czasu leczenia ortodontycznego i zminimalizowania działań niepożądanych związanych z długotrwałym leczeniem ortodontycznym oprócz metod niechirurgicznych stosuje się również bardziej inwazyjne metody chirurgiczne, takie jak np. koryktomia.

Koryktomia jako zabieg ułatwiający ortodontyczny ruch zęba została wprowadzona w 1959 roku przez Kole, a następnie udoskonalona w 2001 roku przez braci Wilcko i wsp. (21). Jest to zabieg polegający na wytworzeniu płytkich perforacji lub nacięć w korowej warstwie kości wyrostka zębołowego, podczas gdy kość beleczkowa i szpikowa pozostają nienaruszone. W wyniku tych procesów dochodzi do przyspieszenia procesów fizjologicznych związanych z gojeniem kości (22). Nacięcie warstwy korowej kości to nie tylko sposób na przyspieszenie ruchu ortodontycznego zęba, ale także sposób na zwiększenie potencjału tworzenia kości. Bracia Wilcko zasugerowali, że szybki ruch zębów po koryktomii wynika z następujących po sobie procesach demineralizacji i remineralizacji, powodując regionalne zjawisko przyspieszenia przebudowy kości RAP (Regional Acceleration Phenomenon). W miejscu zabiegu dochodzi do wzrostu mediatorów stanu zapalnego, co skutkuje zmniejszeniem gęstości kości i wzrostem jej resorpcji. Po stronie przyłożonej siły obserwuje się wzrost aktywności osteoklastów, które powodują osteolizę kości. Dochodzi do zmniejszenia gęstości kości oraz przemieszczenia macierzy kostnej i kolagenowej tkanki miękkiej wokół korzenia zęba. Czas trwania RAP w kości ludzkiej trwa około 4–6 miesięcy. W badaniach na zwierzętach wykazano, że wielkość ruchu zęba w okresie RAP była podwójna w tempie 1 mm na miesiąc (23).

Bracia Wilcko opracowali zabieg polegający na odwarstwieniu płata śluzówkowo-okostnowego, wykonaniu cięć w blaszce koryktalnej od strony policzkowej i językowej wokół przesuwanych zębów oraz założeniu pod okostną przeszczepu kostnego, co ma zwiększać objętość kości, umożliwiając tym samym większy zakres ruchów zęba i podparcie dla przyzębia. Takie postępowanie może więc ograniczać wskazania do ekstrakcji zębów. Jest ono nazwane techniką przyspieszonej osteogenicznej ortodontji przyzębia PAOO (Periodontally Accelerated Osteogenic Orthodontic). Siłę ortodontyczną do zęba przykładają się w ciągu 2 tygodni od zabiegu. Dochodzi wówczas do zwiększonej aktywności osteoklastów i przyspieszonego ruchu zęba (24). Wśród głównych zalet koryktomii wymienia się skrócenie całkowitego czasu leczenia od 6 do 8 miesięcy, lepszą stabilność wyników po leczeniu i mniejszą liczbę nawrotów. Podkreślane jest także zwiększenie zakresu zachowawczego

remains intact. These processes result in an acceleration of physiological processes associated with bone healing (22). Incising the bone cortical layer is not only a way to accelerate orthodontic tooth movement but also a way to increase the bone formation potential. The Wilcko brothers suggested that rapid tooth movement after corticotomy was due to subsequent demineralisation and remineralisation processes, causing a regional acceleration phenomenon (RAP) of bone remodelling. The levels of inflammatory mediators increase at the surgical site, resulting in decreased bone density and increased bone resorption. On the side of the applied force, the activity of osteoclasts increases, which causes bone osteolysis. Bone density decreases, and the bone matrix and collagenous soft tissue are shifted around the tooth root. The RAP duration in the human bone is approximately 4–6 months. Animal studies showed that the tooth movement rate during the RAP period was doubled at the rate of 1 mm per month (23).

The Wilcko brothers developed a procedure that involved dissection of a mucoperiosteal flap, making incisions in the cortical plate on the buccal and lingual sides around the teeth to be moved, and placing a bone graft under the periosteum to increase the bone volume, allowing a greater range of tooth movement and periodontal support. Therefore such management may limit the indications for tooth extraction. It is called periodontally accelerated osteogenic orthodontic (PAOO) technique. The orthodontic force is applied to a tooth within two weeks since the procedure. This results in increased osteoclast activity and accelerated tooth movement (24). The main advantages of corticotomy include a shorter total treatment duration of 6 to 8 months, better stability of post-treatment outcomes, and fewer recurrences. Moreover, the scope of conservative treatment of malocclusions can be increased. It is possible to avoid permanent teeth extraction even in cases of severe crowding or orthognathic surgery in skeletal defects, as well as to accelerate the movement of retained teeth and to increase the alveolar bone volume (25). However, corticotomy as a surgical method is an invasive method and carries the risk of various complications such as bone damage, pain, swelling of the surrounding tissues or loss of attached gingiva (26). Therefore, the literature shows reports of further less invasive modifications of the method, related to different types of a dissected flap, tools used to make incisions or the use of bone grafts.

Piezocision is one of the surgical procedures and involves decortication of the alveolar process using a piezoelectric knife. Vercellotti was the first to perform this procedure in 2007, and he used piezosurgery after conventional flap elevation. The term piezocision was introduced in 2009 by Dibart, who performed a flapless corticotomy using a piezosurgical microsaw with a BS1 cutting tip, by incising soft tissue and bone at the length of 5–10 mm and the depth of 3 mm, below the attached gingiva. A complication of this

leczenia wad zgryzu, z możliwością uniknięcia ekstrakcji zębów stałych, nawet w przypadkach nasilonych słoczeń czy zabiegu ortognatycznego w wadach kostnych, jak również przyspieszenie sprowadzania zębów zatrzymanych oraz zwiększenie objętości kości wyrostka zębodołowego (25). Kortykotomia jako metoda chirurgiczna jest jednak metodą inwazyjną i niesie ze sobą ryzyko różnych powikłań, takich jak uszkodzenie kości, ból, obrzęk okolicznych tkanek czy utrata dziąsła przyczepionego (26). Z tego względu pojawiają się w literaturze doniesienia o kolejnych, mniej inwazyjnych modyfikacjach metody, związanych z różnymi rodzajami odwarstwowanego płata, narzędziami użytymi do wykonania nacięć lub użyciem przeszczepów kostnych.

Jedną z procedur chirurgicznych jest dekortykacja wyrostka zębodołowego za pomocą noża piezoelektrycznego, nazwana piezocyzią. Zabieg ten jako pierwszy wykonał Verzellotti w 2007 roku, stosując piezochirurgię po konwencjonalnym uniesieniu płata. Termin piezocyzią został wprowadzony przez Dibarta w 2009 roku, który wykonywał bezpłatową kortykotomię przy użyciu mikropiły piezochirurgicznej z końcówką tnącą BS1, nacinając tkankę miękką i kość na długości 5–10 mm i głębokości 3 mm, poniżej dziąsła przyczepionego. Powikłaniem tego zabiegu może być uszkodzenie korzenia podczas wykonywania nacięcia słuzówkowo-okostnowego ze względu na brak bezpośredniego wglądu w położenie korzenia zęba (27). Mheissen i wsp. przeprowadzili metaanalizę mającą na celu ocenę obecnie dostępnych dowodów skuteczności piezocyzi w przyspieszeniu leczenia ortodontycznego, w porównaniu do konwencjonalnego leczenia ortodontycznego. Obserwacje dotyczyły przypadków słoczeń zębów oraz retrakcji kłów w czasie 2 miesięcy od wykonania zabiegu piezocyzi i potwierdziły skuteczność zabiegu. Efekt był największy w ciągu pierwszych 3 miesięcy od zabiegu, zgodnie z przebudową kości, potem ulegał spowolnieniu (28).

Inną techniką chirurgiczną, w wyniku której dochodzi do uwolnienia mediatorów zapalnych oraz prekursorów przebudowy kości związanych z ruchem ortodontycznym, jest zastosowanie mikroosteoperforacji (MOP). Zabieg jest wykonywany przy użyciu miniśrub, bez odpreparowania płatów chirurgicznych. Do zastosowania tej techniki służy m.in. system Propel (Propel Orthodontics Ossing). Jest to chirurgiczna miniśruba ze stali nierdzewnej o średnicy 1,4 mm do wykonania osteoperforacji, która według producenta przyspiesza ortodontyczny ruch zęba. Służy ona do perforacji dziąsła i kości zwykle w trzech miejscach sąsiadujących z przesuwanym zębem lub zębami. Wyniki badań dostępnych w piśmiennictwie potwierdzają skuteczność tego zabiegu. Alikhani i wsp. w grupie 20 dorosłych z wadą zgryzu II klasy badali szybkość retrakcji kłów oraz aktywność markerów stanu zapalnego w płynie dziąsłowym po wykonaniu mikroosteoperforacji, w porównaniu z grupą kontrolną (29). Badanie wykazało zwiększenie tempa przemieszczeń kłów w grupie z wykonaną mikroosteoperforacją o około 2–3

procedurę może włączyć uszkodzenie korzenia zęba, gdy wykonano nacięcie w miejscu, w którym nie ma bezpośredniego wglądu do położenia korzenia zęba (27). Mheissen et al. przeprowadzili metaanalizę, aby ocenić aktualnie dostępne dowody na skuteczność piezocyzi w przyspieszaniu ortodontycznego leczenia, w porównaniu z tradycyjnym ortodontycznym leczeniem. Obserwacje obejmowały przypadki zbiegnięcia zębów i retrakcji kłów dwa miesiące po piezocyzi i potwierdziły skuteczność tej procedury. Efekty były największe w pierwszych trzech miesiącach po zabiegu, zgodnie z przebudową kości, a następnie spowolniły (28).

Mikroosteoperforacje (MOP) to inna technika chirurgiczna, która prowadzi do uwolnienia mediatorów zapalnych i prekursorów przebudowy kości związanych z ruchem ortodontycznym. Procedura jest wykonywana za pomocą miniśrub, bez konieczności wykonania incyzji. Do zastosowania tej techniki służy m.in. system Propel (Propel Orthodontics Ossing system), w tym celu stosuje się miniśruby. Jest to 1,4-mm średnicy chirurgiczna stal nierdzewna miniśruba do wykonania osteoperforacji, która przyspiesza ortodontyczny ruch zęba, zgodnie z deklaracją producenta. Jest używana do perforacji dziąsła i kości, zwykle w trzech miejscach przylegających do zęba lub zębów, które są przemieszczane. Wyniki badań dostępnych w literaturze potwierdzają skuteczność tej procedury. Alikhani et al. badali grupę 20 dorosłych z II klasą niedokładności zgryzowej i zbadali stopień zbiegnięcia kłów i aktywność markerów stanu zapalnego w płynie dziąsłowym po wykonaniu mikroosteoperforacji, w porównaniu z grupą kontrolną (29). Wyniki badania wykazały zwiększenie tempa zbiegnięcia kłów w grupie z mikroosteoperforacją o około 2–3 razy, z istotnie zwiększonymi markerami stanu zapalnego. Ponadto, Khundi et al. pozytywnie ocenił efekty mikroosteoperforacji na stopień zbiegnięcia kłów. Badali 30 pacjentów, którzy przeszli mikroosteoperforację i porównali wyniki z grupą kontrolną. Wyniki badania wykazały, że stopień zbiegnięcia kłów był ponad dwukrotnie większy niż w grupie kontrolnej (30). Różne wyniki otrzymano od Aboalanga et al. i Alkebsi et al., którzy na podstawie badań zbiegnięcia kłów, nie uzyskali istotnie statystycznie wyników, które wskazywałyby na pozytywny efekt mikroosteoperforacji na przyspieszenie ortodontycznego ruchu zęba (31, 32). Powyższe badania zostały opublikowane przez Santos et al. Na podstawie przeglądu literatury dotyczącego skuteczności osteoperforacji przy użyciu systemu Propel i innych tradycyjnych miniśrub, które są podobne do systemu Propel, nie wykazano ich wpływu na przyspieszenie ortodontycznego ruchu zęba (33).

Skafelowa kotwica, która nie wymaga współpracy pacjenta, jest coraz częściej używaną metodą do skrócenia czasu leczenia ortodontycznego. Utrata kotwicy podczas leczenia ortodontycznego jest problemem, szczególnie u dorosłych pacjentów, a zwłaszcza w przypadkach, w których występuje znaczny brak zębów w obszarach podporowych i utrata kości alweolarnej. Mini-implanty i implanty jako maksymalna kotwica mają

razy, że znacznym wzrostem poziomu markerów stanu zapalnego. Również Khundi i wsp. pozytywnie ocenili wpływ mikroosteoperforacji na szybkość przesunięć ortodontycznych. Zbadali oni tempo retrakcji kłów u 30 pacjentów, u których wykonali zabieg osteoperforacji i porównali wyniki z grupą kontrolną. Wykazali, że w grupie badanej tempo przesunięć ortodontycznych było ponaddwukrotnie większe niż w grupie kontrolnej (30). Odmienne wyniki uzyskali Aboalanga i wsp. oraz Alkebsi i wsp., którzy na podstawie badań nad retrakcją kłów nie otrzymali istotnych statystycznie wyników świadczących o pozytywnym wpływie mikroosteoperforacji na przyspieszenie ortodontycznego ruchu zębów (31, 32). Do powyższych badań odnieśli się Santos i wsp. Na podstawie przeglądów systematycznych baz danych nad skutecznością osteoperforacji przy użyciu systemu Propel, oraz innych konwencjonalnych miniśrub podobnych do systemu Propel, nie wykazali oni ich wpływu na przyspieszenie ortodontycznego ruchu zębów (33).

Metodą coraz powszechniej stosowaną, wpływającą na skrócenie czasu leczenia ortodontycznego, jest zakotwienie szkieletowe, które nie wymaga współpracy pacjenta. Utrata zakotwienia podczas leczenia ortodontycznego stanowi problem zwłaszcza u pacjentów dorosłych, szczególnie w przypadkach z rozległymi brakami zębowymi w strefach podparcia oraz z zanikiem kości wyrostka zębodołowego. Miniimplanty oraz implanty jako zakotwienie maksymalne skutecznie zastąpiły płytki Nance, łuki podniebienne czy headgear. Implanty ortodontyczne pod względem osteointegracji dzielą się na implanty osteointegracyjne (implanty podniebienne, implanty okolicy zatrzonowcowej, onimplanty) oraz implanty nieosteointegracyjne (mini-płytki, miniimplanty, miniśruby). Implanty osteointegracyjne można obciążyć siłami ortodontycznymi po czasie osteointegracji, a implanty nieosteointegracyjne – natychmiast po zabiegu. Zakotwienie szkieletowe za pomocą miniimplantów jest wykorzystywane podczas leczenia ortodontycznego m.in. do intruzji zębów, do dystalizacji zębów trzonowych w szczęce i w żuchwie, do pionizacji zębów trzonowych, do korekty skośnej płaszczyzny zgryzu, do zamykania przestrzeni przy braku zakotwienia oraz do mezjalizacji zębów. Miniimplanty są wykonane z materiałów biokompatybilnych (tytan, stal chirurgiczna). W związku z zastosowaniem technik maksymalnego zakotwienia ortodonta zyskał możliwość korekty rozległych wad zgryzu, które wcześniej mogły być leczone wyłącznie za pomocą chirurgii ortognatycznej. Zastosowanie zakotwienia szkieletowego przyczyniło się również do skrócenia całkowitego czasu leczenia ortodontycznego (34, 35).

Cofnięcie wychylonych lub stłoczonych zębów czy retrakcja ektopowo położonych kłów po ekstrakcji zębów przedtrzonowych często stanowią element leczenia ortodontycznego. Becker i wsp. zbadali skuteczność miniimplantów w procesie retrakcji siekaczy i kłów przy użyciu zakotwienia szkieletowego. W grupie kontrolnej zakotwiczenie osiągnięto za pomocą płytek Nance, headgerów, łuków podniebiennych

effectively replaced Nance plates, palatal arches or headgear. In terms of osteointegration, orthodontic implants are divided into osteointegrated implants (palatal implants, implants of the retromolar region, onimplants) and non-osteointegrated implants (miniplates, mini-implants, miniscrews). Osteointegrated implants can be loaded with orthodontic forces after the osteointegration time, and non-osteointegrated implants – immediately after the procedure. Skeletal anchorage with mini-implants is used during orthodontic treatment for tooth intrusion, distalisation of maxillary and mandibular molars, verticalisation of molars, correction of the oblique occlusal plane, space closure in the absence of anchorage, and teeth mesialisation. Mini-implants are made of biocompatible materials (titanium, surgical steel). With the use of maximum anchorage techniques, an orthodontist has learned to correct extensive malocclusions that previously could have only been treated with orthognathic surgery. The use of skeletal anchorage has also contributed to the reduction in total orthodontic treatment duration (34, 35).

Retraction of inclined or crowded teeth or retraction of ectopically located canines after premolar extraction are often part of orthodontic treatment. Becker et al. investigated the effectiveness of mini-implants in the retraction of incisors and canines using skeletal anchorage. In the control group, skeletal anchorage was achieved with Nance plates, headgears, palatal arches, and intrusive arches. The analysis of results showed that maximum anchorage could be achieved with mini-implants, but evaluating the most favourable implant location (palatal or alveolar) requires further research (36).

In contrast, Marzouk et al. investigated the efficacy of zygomatic plates in the treatment of open bites in adult patients. Miniplates were used for molar intrusion in the maxilla, resulting in mandibular autorotation and closure of an open bite. The results of this study showed an increase in the SNB angle and a decrease in the ANB angle, proving that zygomatic anchorage with miniplates was effective in correcting a skeletal open bite (37).

Unfortunately, despite their proven effectiveness, mini-implants are also not free from defects. Injuries to the roots of adjacent teeth, loosening or fracture of screws or inflammation around them are observed (38). Chen et al. investigated the stability of miniplates and miniscrews used for anchorage reinforcement during orthodontic treatment. They found no differences in failure rates with respect to gender, type of malocclusion, implant site, or method of the force application. Increased failure rates have been associated with the presence of local inflammation around an implant, with too early implant loading, and with insertion of the implant into lower density bone (39).

Papagergiou et al. (40) examined 5332 miniscrews and determined the overall success rate of mini-implants, which ranged from 79% to 98.2%, and in the study by Kyung et al.

oraz łuków intruzyjnych. Analiza wyników badań wykazała, że stosując miniimplanty można osiągnąć maksymalne zakotwienie, ale ocena najkorzystniejszej lokalizacji implantu (podniebienie lub wyrostek zębodołowy) wymaga dalszych badań (36).

Natomiast Marzouk i wsp. zbadali skuteczność zastosowania płytek zygomatycznych w leczeniu zgryzu otwartego u pacjentów dorosłych. Miniptyłki służyły do intruzji zębów trzonowych w szczęce, dzięki czemu dochodziło do autorotacji żuchwy i zamknięcia szpary niedogryzowej. Wyniki badań pokazały zwiększenie kąta SNB i zmniejszenie kąta ANB, co dowiodło, że zakotwienie jarzmowe za pomocą minipłytek jest skuteczne w korekcie szkieletowego zgryzu otwartego (37).

Niestety, pomimo udowodnionej skuteczności, miniimplanty nie są też wolne od wad. Obserwowane są urazy korzeni zębów sąsiednich, obłuzowanie lub złamanie śruby oraz stany zapalne wokół niej (38). Chen i wsp. zbadali stabilność minipłytek i miniśrub stosowanych do wzmocnienia zakotwienia podczas leczenia ortodontycznego. Nie zauważyli oni różnic w odsetkach niepowodzeń w odniesieniu do płci, rodzaju wady zgryzu, miejsca implantacji, metody przyłożenia siły. Zwiększony odsetek niepowodzeń był związany z występowaniem miejscowego stanu zapalnego wokół implantu, ze zbyt wczesnym obciążeniem implantu oraz z wprowadzeniem implantu do kości o mniejszej gęstości (39).

Papagergiou i wsp. (40) po zbadaniu 5332 miniśrub ocenili ogólny wskaźnik powodzenia miniimplantów, który wahał się od 79% do 98,2%, a u Kyunga i wsp. (41) na podstawie badań z udziałem 2281 pacjentów ten wskaźnik wynosił 86,5%. Podobny wynik (89,8%) podaje Gurdan i wsp. po obserwacji leczenia ortodontycznego 59 pacjentów z jednym lub większą liczbą miniimplantów w okresie 2 lat. W tym badaniu ruchomość śrub zastosowanych od strony policzkowej była istotnie częstsza, w porównaniu z podniebiennymi (38). Podobne wyniki podają również Arqub i wsp., którzy zbadali 127 pacjentów z 257 miniimplantami. Wraz z danymi dotyczącymi niepowodzenia implantów zwracano uwagę na takie czynniki jak wiek, płeć, położenie implantów oraz ich przeznaczenie. Według autorów odsetek niepowodzeń miniimplantów podniebiennych wyniósł 8,5%, a miniimplantów policzkowych – 68,7%. Wskaźnik powodzenia miniimplantów podniebiennych był zależny od ich przeznaczenia, a policzkowych – od wady szkieletowej i ich lokalizacji (przy wadach zgryzu klasy III zaobserwowano najniższy wskaźnik powodzenia, jak również w miniimplantach wprowadzonych w fałd policzkowy) (42). Częstość niepowodzeń miniimplantów wprowadzonych w obszar zatrzonowcowy (110 miniśrub u 102 pacjentów) oraz czynniki wpływające na ich stabilność badali Mazeem i wsp. Zaobserwowali 23,2% niepowodzeń głównie po stronie prawej, a podstawowym problemem były stany zapalne występujące wokół miniimplantu, a zatem utrzymywanie idealnej higieny jamy ustnej wydaje się być kluczowe podczas stosowania zakotwienia szkieletowego (43).

(41) involving 2281 patients, this rate was 86.5%. Similar results (89.8%) are reported by Gurdan et al. after a 2-year follow-up of orthodontic treatment in 59 patients with one or more mini-implants. In this study, the mobility of screws applied to the buccal side was significantly more frequent compared to the palatal side (38). Similar results are also reported by Arqub et al. who studied 127 patients with 257 mini-implants. Along with implant failure data, factors such as age, gender, implant location, and implant purpose were taken into account. According to the authors, the failure rate of palatal mini-implants was 8.5% and of buccal mini-implants – 68.7%. The success rate of palatal mini-implants depended on their purpose, and buccal mini-implants – on the skeletal defect and their location (the lowest success rate was observed with Class III malocclusions, as well as in mini-implants inserted into the buccal fold) (42). Mazeem et al. studied the failure rate of mini-implants inserted into the retromolar area (110 miniscrews in 102 patients) and factors affecting their stability. They observed 23.2% failures, mainly on the right side, and the primary problem was inflammation occurring around mini-implants; therefore, maintaining perfect oral hygiene seems to be crucial when using skeletal anchorage (43).

Patients with periodontal diseases are a special group of orthodontic patients. Many of these patients begin treatment with fixed braces after periodontal procedures to increase bone and soft tissue volume. The procedures, called guided orthodontic regeneration (GOR), include guided orthodontic soft tissue regeneration (GOTR) and guided orthodontic bone regeneration (GOBR) and involve slow extrusion or controlled extraction of teeth. They can help in the reconstruction of teeth with external resorption or after traumas, as well as enable the insertion of an implant in a place where bone tissue has been lost due to inflammatory processes. These techniques are also used to correct collapsed hard tissues after tooth extraction (44).

Beauchamp et al. described pre-orthodontic surgical techniques referred to as surgically facilitated orthodontic therapy (SFOT) to increase bone volume and minimise the risk of gingival recession. According to the authors, surgical procedures (corticotomy) assisted by bone augmentation along with soft tissue grafts thicken the periodontal phenotype and by inducing the regional acceleration phenomenon (RAP) accelerate tooth displacement. Consequently, they reduce the orthodontic treatment duration, increase the stability of results, reduce the number of relapses and increase the scope of malocclusion treatment (45).

Circumferential supracrestal fiberotomy (CSF) is another procedure that supports orthodontic treatment. It is used to support orthodontic extrusion for patients with transverse fractures of tooth roots, subgingival caries, external resorption or root perforation. The application of extrusive forces affects the process of periodontal remodelling by stimulating the alveolar bone and marginal gingiva to

Szczególną grupą pacjentów ortodontycznych są pacjenci z chorobami przyzębia. Wielu z nich rozpoczyna leczenie aparatami stałymi po zabiegach periodontologicznych, mających na celu zwiększenie objętości kości i tkanek miękkich. Zabiegi, nazywane sterowaną regeneracją ortodontyczną (GOR, Guided Orthodontic Regeneration), obejmują sterowaną ortodontyczną regenerację tkanek miękkich (GOTR, Guided Orthodontic Soft Tissue Regeneration) i sterowaną ortodontyczną regenerację kości (GOBR, Guided Orthodontic Bone Regeneration) i polegają na powolnej ekstruzji lub kontrolowanej ekstrakcji zębów. Mogą one pomagać w odbudowie zębów z resorpcją zewnętrzną lub po urazach, a także umożliwić wprowadzenie implantu w miejsce, gdzie wskutek procesów zapalnych doszło do utraty tkanki kostnej. Te techniki są wykorzystywane również do korekty zapadniętych tkanek twardych po ekstrakcji zęba (44).

Beauchamp i wsp. opisali przedortodontyczne techniki chirurgiczne określane jako chirurgicznie ułatwione leczenie ortodontyczne (SFOT, Surgically Facilitated Orthodontic Therapy), które mają na celu zwiększenie objętości kości i zminimalizowanie ryzyka powstania recesji dziąseł. Według autorów zabiegi chirurgiczne (kortykotomia) wspomagane augmentacją kości wraz z przeszczepami tkanek miękkich pogrubiają fenotyp przyzębia i przez indukcję regionalnego zjawiska akceleracji RAP przyspieszają przemieszczanie zębów. A zatem skracają czas leczenia ortodontycznego, zwiększają stabilność wyników, zmniejszają liczbę nawrotów oraz zwiększają zakres leczenia wad zgryzu (45).

Kolejną procedurą wspomagającą leczenie ortodontyczne jest fiberotomia nadgrzebieniowa włókien ozębnej (CSF, Circumferential Supracrestal Fiberotomy). Jest ona wykorzystywana do wspomaganie ekstruzji ortodontycznej stosowanej u pacjentów ze złamaniami poprzecznymi korzenia zęba, z próchnicą poddziąsłową, resorpcją zewnętrzną czy perforacją korzenia. Zastosowanie sił ekstruzyjnych ma wpływ na proces przebudowy przyzębia przez stymulację kości wyrostka zębodołowego oraz dziąsła brzeźnego do migracji dokoronowej, co z jednej strony jest korzystne, z drugiej jednak często wymaga dodatkowych zabiegów korekcyjnych w przypadku planowanego następnego leczenia protetycznego. Fiberotomia nadgrzebieniowa ma za zadanie minimalizować dokoronowy ruch dziąsła. Może być wykonywana co 1–2 tygodnie podczas ekstruzji zęba lub jednorazowo po jej zakończeniu. CSF polega na przeprowadzeniu cięcia przez szczelinę dziąsłową na głębokość adekwatną do poziomu kości wyrostka zębodołowego przy zębie sąsiednim (46, 47). Nacięcie może być wykonywane skalpelem lub laserem erbowym (wysokoenergetyczny, HILT, High Intensity Laser Therapy), który nie powoduje powierzchownej martwicy tkanek (48).

Özbilen i wsp. na podstawie swoich badań ustalili kryteria warunkujące powodzenie zabiegów fiberotomii, zwłaszcza w obrębie zębów trzonowych. Zaliczyli do nich: siłę ekstruzyjną powyżej 50g, odpowiednią długość korzenia

coronal migration, which on the one hand, is beneficial, but on the other hand, often requires additional corrective procedures in the case of planned subsequent prosthetic treatment. Supracrestal fiberotomy is designed to minimise the coronal movement of the gingiva. It can be performed every 1 to 2 weeks during the occlusal tooth movement or once after the extrusion is completed. CSF involves making an incision through the gingival fissure to the depth corresponding to the alveolar bone level of the adjacent tooth (46, 47). The incision can be made with a scalpel or an erbium laser (High Intensity Laser Therapy, HILT), which does not cause superficial tissue necrosis (48).

On the basis of their research, Özbilen et al. established criteria determining the success of fiberotomy procedures, especially in the area of molars. They included: extrusive force above 50 g, adequate tooth root length, and healthy periodontal tissues. The above procedures were characterised by postoperative stability and the lack of need for additional surgical-periodontal procedures to correct the gingival outline before prosthetic restoration (49).

Al-Jasser et al. demonstrated the positive effects of supracrestal fiberotomy of the periodontal fibres on the stability of incisor position after orthodontic treatment. Long-term follow-up showed a statistically significant reduction in the recurrence of tooth rotation after CSF, once permanent retention was placed (50, 51). However, one should be careful with ectopically erupted teeth because of the possibility of complications such as resorption, ankylosis, or increased tooth mobility (49).

Studies into the potential use of stem cells in tissue engineering and regenerative medicine have been ongoing for many years. These cells, derived from bone marrow, adipose tissue, skin or cord blood, have been isolated and studied for their ability to proliferate and differentiate into cells leading to tissue regeneration. In recent years, mesenchymal stem cells (MSCs) derived from dental tissues have been studied. Research has included human dental pulp stem cells (hDPSC), stem cells from human exfoliated deciduous teeth (SHED), as well as those derived from the periodontal ligament and interdental papilla. Their usefulness as a source of cells for tissue regeneration was evaluated. Nakajima et al. investigated the use of stem cells from human deciduous teeth to close bone defects in the alveolar gap in cleft lip and palate. Traditionally, an autogenous hip bone graft has been used for this purpose, which is associated with the potential for complications (pain, haematomas, hip fractures). Therefore, the use of SHEDs seems to be very promising because it is much less invasive. In their study, the authors compared the degree of bone regeneration in the cleft gap using SHEDs, hDPSCs, and hBMSCs. They performed a three-dimensional analysis by computed microtomography and histological evaluation. The study results showed that the degree of bone regeneration 12 weeks after transplantation of SHEDs was similar to hDPSCs and hBMSCs. However, based on the

zęba oraz zdrowe tkanki przyzębia. Powyższe procedury cechowała stabilność pozabiegowa, jak również brak konieczności zastosowania dodatkowych zabiegów chirurgiczno-periodontologicznych korygujących zarys dziąsła przed wykonaniem uzupełnienia protetycznego (49).

Al-Jasser i wsp. wykazali dodatni wpływ zabiegu fibrotomii nadgrzebieniowej włókien ozębnej na stabilność pozycji zębów siecznych po leczeniu ortodontycznym. W obserwacji długoterminowej wykazano statystycznie istotną redukcję nawrotu rotacji zębów po wykonaniu CSF, po założeniu stałej retencji (50, 51). Należy jednak być ostrożnym w przypadku zębów wyróżnionych ektopowo, ze względu na możliwość wystąpienia powikłań takich jak resorpcja, ankyloza lub zwiększona ruchomość zęba (49).

Od wielu lat prowadzi się badania nad możliwościami wykorzystania komórek macierzystych w inżynierii tkankowej i medycynie regeneracyjnej. Komórki te, pochodzące ze szpiku kostnego, tkanki tłuszczowej, skóry czy krwi pępowinowej, zostały wyizolowane i przebadane pod kątem zdolności do proliferacji i różnicowania komórek prowadzących do regeneracji tkanek. W ostatnich latach zbadano mezenchymalne komórki macierzyste (MSC, Mesenchymal Stem Cells) pochodzące z tkanek zęba. Badania objęły komórki macierzyste miazgi (hDPSC, human Dental Pulp Stem Cells), komórki macierzyste z usuniętych zębów mlecznych (SHED, Stem Cells from Human Exfoliated Deciduous Teeth), jak również pochodzące z więzadła przyzębia i brodawki międzyzębowej. Oceniano ich przydatność jako źródło komórek do regeneracji tkanek. Nakajima i wsp. zbadali wykorzystanie ludzkich komórek macierzystych pochodzących z zębów mlecznych w celu zamknięcia ubytku kostnego w szczelinie wyrostka zębodołowego w rozszczepie wargi i podniebienia. Tradycyjnie w tym celu stosuje się autogeniczny przeszczep kości biodrowej, który wiąże się z możliwościami powikłań (ból, krwiaki, złamania kości biodrowej). Z tego względu bardzo obiecujące, jako znacznie mniej inwazyjne, wydaje się być wykorzystanie komórek macierzystych SHED. W swoim badaniu autorzy porównali stopień regeneracji kości w szczelinie rozszczepu z wykorzystaniem komórek macierzystych z usuniętych zębów mlecznych (SHED), komórek macierzystych miazgi zęba (hDPSC) i mezenchymalnych komórek macierzystych szpiku kostnego (hBMSC). Przeprowadzili analizę trójwymiarową za pomocą mikrotomografii komputerowej oraz ocenę histologiczną. Wyniki badań pokazały, że stopień regeneracji kości 12 tygodni po przeszczepie z SHED był zbliżony do hDPSC i hBMSC. Jednakże w badaniu histologicznym to przeszczep z SHED wytworzył największe osteoidy i szeroko rozmieszczone włókna kolagenowe, a zatem prawdopodobnie jest on jednym z najlepszych kandydatów jako źródło komórek do rekonstrukcji szczeliny wyrostka zębodołowego w przypadku rozszczepów w obrębie twarzowej części czaszki (52).

W piśmiennictwie dostępne są również badania porównujące komórki macierzyste z usuniętych zębów mlecznych,

histological evaluation, the SHED graft produced the largest osteoids and widely distributed collagen fibres, and thus it is probably one of the best candidates as a source of cells for alveolar cleft reconstruction in craniofacial clefts (52).

The literature also presents studies comparing stem cells from human exfoliated deciduous teeth, human dental pulp stem cells and mesenchymal stem cells from the bone marrow. The advantage of cells from exfoliated deciduous teeth is associated with their high availability. The proliferative capacity of cultured cells was analysed by bromodeoxyuridine immunoassay and cell counting, and the alkaline phosphatase levels were monitored. The study results showed higher proliferative activity of SHEDs, so the authors suggest that they may be a source of cells for use in bone regeneration therapy (53).

Conclusions

The use of various methods to accelerate orthodontic treatment has been the subject of studies for many years. Both orthodontists and patients are interested in shortening the treatment duration, because the risk of complications (caries, root resorption, gingival recession) may be reduced, and faster and more stable outcomes may be achieved. New techniques providing bone stimulation also make it possible to treat extensive malocclusions that previously could have only been corrected with orthognathic surgery or permanent teeth extraction. However, many of these methods still require further clinical trials.

Methods supporting orthodontic treatment – a literature-based review

komórek miazgi zębowej i mezenchymalnych komórek macierzystych pochodzących ze szpiku kostnego. Przewaga komórek pochodzących z usuniętych zębów mlecznych wynika z ich dużej dostępności. Zdolność proliferacyjną hodowanych komórek analizowano za pomocą testu immunologicznego bromodeoksyurydynowego i liczenia komórek, a także monitorowano poziomy fosfatazy alkalicznej. Wyniki badań wykazały wyższą aktywność proliferacyjną SHED, dlatego autorzy sugerują, że mogą one być źródłem komórek do zastosowania w terapii regeneracji kości (53).

Wnioski

Zastosowanie różnych metod przyspieszających leczenie ortodontyczne jest od wielu lat przedmiotem badań. Zarówno ortodonta, jak i pacjenci są zainteresowani skróceniem terapii, ze względu na możliwość zmniejszenia ryzyka powikłań (próchnica, resorpcja korzeni, recesje dziąseł) oraz osiągnięcia szybszego i bardziej stabilnego efektu. Nowe techniki związane z pobudzaniem do tworzenia kości pozwalają także leczyć rozległe zaburzenia zgryzu, które wcześniej mogły być korygowane tylko za pomocą chirurgii ortognatycznej lub ekstrakcji zębów stałych. Jednak wiele z tych metod wymaga jeszcze dalszych badań klinicznych.

Piśmiennictwo / References

1. Yamaguchi M, Fukasawa S. Is inflammation a friend or foe for orthodontic treatment? Inflammation in orthodontically induced inflammatory root resorption and accelerating tooth movement. *Int J Mol Sci* 2021; 22: 2388.
2. Yina Li, A. Jacox L, Shannyn H. Little, Ching-Chang Ko. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. *Kaohsiung J Med Sci* 2018; 34: 207-14.
3. Kirshnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular and tissue-level reactions to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 469-32.
4. Ngan PW, Saito S, Saito M, Lanese R, Shanfeld J, Davidovitch Z. The interactive effects of mechanical stress and interleukin-1 beta on prostaglandin E and cyclic AMP production in human periodontal ligament fibroblasts in vitro: comparison with cloned osteoblastic cells of mouse (MC3T3-E1). *Arch Oral Biol* 1990; 35: 717-25.
5. Eltimamy A, Aly El-Sharaby F, Eid F, El-Dakrory A. The effect of local pharmacological agents in acceleration of orthodontic tooth movement: A systematic review. *Maced J Med Sci* 2019; 7: 882-6.
6. Bartzela T, Turp JC, Mortschall E, Maltha JC. Medication effects on the rate of orthodontic tooth movement: A systematic literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 16-26.
7. Arqub SA, Gandhi V, Iverson MG, Ahmed M, Kuo CL, Mu J, Dutra E, Uribe F. The effect of the local administration of biological substances on the rate of orthodontic tooth movement: a systematic review of human studies. *Progr in Orthod* 2021; 1: 22-5.
8. Dhebi H, Azaroual MF, Zaoudi F, Halimi A, Benyahia H. Therapeutic efficacy of self-ligating brackets: A systematic review. *Int Orthod* 2017; 15: 297-311.
9. Aras I, Unal I, Huniler G, Aras A. Root resorption due to orthodontic treatment using self-ligating and conventional brackets: A cone-beam computed tomography study. *J Orofac Orthop* 2018; 79: 181-90.
10. Szczupakowski A, Reiman S, Dirk C, Keilig L, Weber A, Jager A, Bourauel C. Friction behavior of self-ligating and conventional brackets with different ligature systems. *J Orofac Orthop* 2016; 77: 287-95.
11. Gkantidis N, Mistakidis I, Kouskoura T, Pandis N. Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2014; 42: 1300-19.
12. Guram G, Reddy RK, Dharmasi AM, Ismail PM, Mishra S, Prakashkumar MD. Evaluation of Low-Level Laser Therapy on orthodontic tooth movement: a randomized control study. *Contemp Clin Dent* 2018; 9: 105-9.
13. Qamruddin I, Alam MK, Mahrhoof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Photobiostimulatory effect of a single dose of Low-Level Laser on orthodontic tooth movement and pain. *Pain Res Manag* 2021; 10: 1-5.
14. Cruz DR, Kohara EK, Ribeiro MS, Wetter NU. The effect of Low-Level Laser Therapy on the acceleration of orthodontic tooth movement. *J Lasers Med Sci* 2020; 11: 204-11.
15. Nahas AZ, Samara SA, Rastegar-Lari TA. Decrowding of lower anterior segment with and without photomodulation: a single center, randomized clinical trial. *Lasers Med Sci* 2017; 32: 129-35.
16. Cornshaw M, Parker S, Anagnostoni E, Lynch E. Systematic review of orthodontic treatment management with photobiomodulation Therapy. *Photomodul Photomed Laser Surg* 2019; 37: 862-8.

17. Limpanichkul W, Godfrey K, Srisuk N, Rattanayatikul C. Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 2006; 9: 38-43.
18. Marquezan M, Bolognese AM, Araujo MT. Effects of two low-intensity laser therapy protocols on experimental tooth movement. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 757-62.
19. Chung SE, Tompson B, Gong SG. The effects of light emitting diode phototherapy on rate of orthodontic tooth movement a split mouth controlled clinical trial. *J Orthod* 2015; 42: 274-83.
20. Horigome Y, Sugimori T, Shimizu M, Hikida T, Suemitsu M, Kuyama K, Kasai K. Vibration stimuli accelerate orthodontic tooth movement by TNF- α and activating cell cycles of PDL. *Int J Oral-Med Sci* 2020; 19: 19-29.
21. Wilcko MT, Wilcko WM, Murphy KG, Carroll WJ, Fergusson DJ, Miley DD, Bouquet JE. Full-Thickness flap/subepithelial connective tissue grafting with intramarrow penetrations: three case reports of lingual root coverage. *Int J Periodontic Resorative Dent* 2005; 25: 561-9.
22. Miles P. Accelerated orthodontic treatment – what's the evidence? *Aust Dent J* 2017; 62; 1: 63-70.
23. Sanjideh PA, Rossouw PE, Campell PM, Opperman LA, Buschang PH. Tooth movements in foxhounds after one or two alveolar corticotomies. *Eur J Orthod* 2010; 32: 106-13.
24. Lee W. Corticotomy for orthodontic tooth movement. *J Korean Assoc Maxillofac Surg* 2018; 44: 251-8.
25. Hassan AH, Saeed SH, Al-Maghlouth BA, Bahammam MA, Linjawi AL, El-Bialy TH. Corticotomy-assisted orthodontic treatment. A systematic review of the biological basis and clinical effectiveness. *Saudi Med J* 2015; 36: 794-801.
26. Viwattanatipa N, Charnchairerk S. The effectiveness of corticotomy and piezocision on canine retraction: A systematic review. *Korean J Orthod* 2018; 48: 200-11.
27. Gibreal O, Hajeer MY, Brad B. Efficacy of piezocision-based flapless corticotomy in the orthodontic correction of severely crowded lower anterior teeth: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 2019; 41: 188-95.
28. Mheissen S, Khan H, Samawi S. In piezocision effective in accelerating orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2020; 15: e0231492.
29. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 639-48.
30. Khundi I, Alam MK, Shaheed S. Micro-osteoperforation effects as an intervention on canine retraction. *Saudi Dent J* 2019; 32: 15-20.
31. Aboalnaga AA, Salah Fayed MM, El-Ashmawi NA, Soliman SA. Effect of micro-osteoperforation on the rate of canine retraction: a split-mouth randomized controlled trial. *Prog Orthod* 2019; 20: 21.
32. Alkebsi A, Al-Maaitah E, Al-Shorman H, Abu AE. Three-dimensional assessment of the effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement during canine retraction in adults with Class II malocclusion: a randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 153: 771-85.
33. Santos C, Mecnas P, Aragon M, Normado D. Effects of micro-osteoperforations with Propel system on tooth movement, pain/quality of life, Anchorage loss, and root resorption: a systematic review and meta-analysis. *Progr in Orthod* 2020; 21: 27.
34. Jones JP, Elnagar MH, Perez DE. Temporary skeletal Anchorage techniques. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2020; 32: 27-37.
35. Melsen B, Dalstra M. Skeletal Anchorage in the past, today and tomorrow. *Orthod Fr* 2017; 88: 35-44.
36. Becker K, Pliska A, Busch C, Wilmes B, Wolf M, Drescher D. Efficacy of orthodontic mini implants for en masse retraction in the maxilla: a systematic review and meta-analysis. *Int Implant Dent* 2018; 4: 35.
37. Marzouk ES, Abdallah EM, Kenany WA. Molar intrusion in open-bite adults using zygomatic miniplates. *Int J Orthod Milwaukee Sommer* 2015; 26: 47-54.
38. Gurdan Z, Szalma J. Evaluation of the success and complication rates of self-drilling orthodontic mini-implants. *Niger J Clin Pract* 2018; 21: 546-52.
39. Chen YJ, Chang HH, Lin HY, Lai EHH, Hung HC, Yao CCJ. Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic Anchorage: experience with 492 temporary Anchorage devices. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19: 1188-96.
40. Papageorgiou SN, Zogakis JP, Papadopulos MA. Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: A meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142: 577-95.
41. Kyung HM, Ly NT, Hong M. Orthodontic skeletal anchorage: Up-to-date review. *Orthod Waves* 2017; 76: 123-32.
42. Arqub SA, Gandhi V, Mehta S, Palo L, Upadhyay M, Yadav S. Survival estimates and risk factors for failure of palatal and buccal mini-implants. *Angle Orthod* 2021; 91: 756-63.
43. Azeem M, Muda M. Failure rates of mini-implants inserted in the retromolar area. *Int Orthod* 2019; 17: 53-9.
44. Palone MG, Kaitos R. Orthodontic- periodontal interactions: Orthodontic extrusion in interdisciplinary regenerative treatments. *Int Orthod* 2018; 16: 217-45.
45. Beauchamp S, Richman SC, Baldock W, Pumphrey BJ, Stern JK. Factors Affecting Predictability of buccal bone augmentation in surgically facilitated orthodontic treatment: etiological considerations. *Comp Contin Educ Dent* 2020; 41: 18-23.
46. Pietruski J. Periodontologiczno-implantologiczna chirurgia plastyczna. *Czelej* 2014.
47. Pawlaczyk K. Kontrolowana ekstrakcja zębów w leczeniu interdyscyplinarnym. *Dent Med Probl* 2006; 43: 602-5.
48. Sant'Anna EF, Tirre de Souza Araujo M, Nojima LI, Carneiro da Cunha A, Lopes da Silveira B, Marquezan M. High-intensity laser application in orthodontics. *Dental Press J Orthod* 2017; 22: 99-109.
49. Özbilen ÖE, Yilmaz HN, Köse KN. Orthodontic extrusion with circumferential supracrestal fiberotomy: a report of two cases. *Turk J Orthod* 2018; 31: 145-9.
50. Al-Jasser R, Al-Subaie M, Al-Jasser N, Al-Rasheed A. Rotational relapse of anterior teeth following orthodontic treatment and circumferential supracrestal fiberotomy. *Saudi Dent J* 2020; 32: 293-9.
51. Al-Jasser R, Al-Jewair T, Al-Rasheed A. One-year rotational relapse frequency following conventional circumferential supracrestal fiberotomy. *World J Clin Cases* 2020; 8: 284-93.
52. Nakajima K, Kunimatsu R, Ando K, Ando T, Hayashi Y, Kihara T, Hiraki T, Tsuka Y, Abe T, Kaku M, Nikawa H, Takata T, Tanne K, Tanimoto K. Comparison of the bone regeneration ability between stem cells from human exfoliated deciduous teeth, human dental pulp stem cells and human bone marrow mesenchymal stem cells. *Biochem Biophys Res Commun* 2018; 497: 876-82.
53. Kunimatsu R, Nakajima K, Awada T, Tsuka Y, Abe T, Ando K, Hiraki T, Kimura A, Tanimoto K. Comparative characterization of stem cells from human exfoliated deciduous teeth dental pulp and bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Biochem Biophys Res Commun* 2018; 501: 193-8.