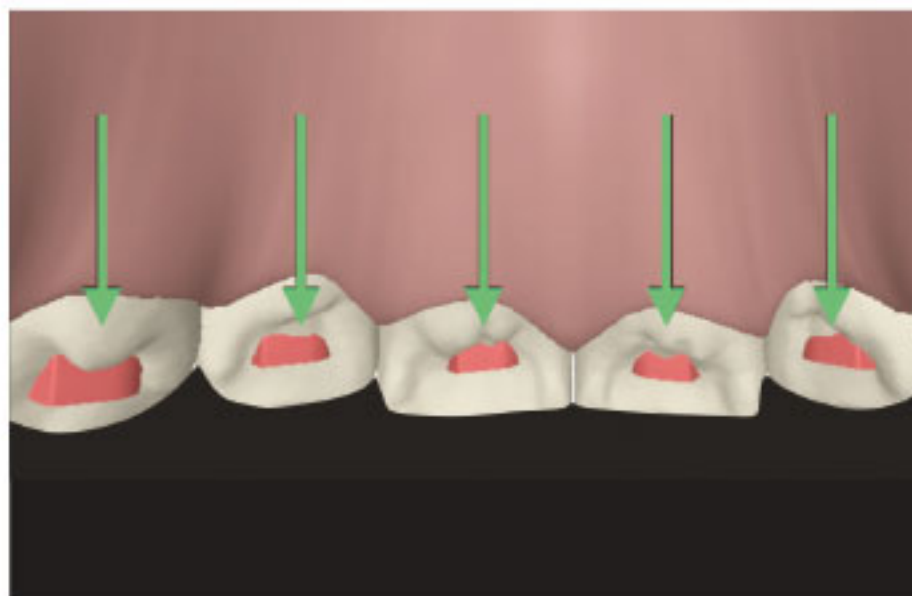


PODSTAWY I BIOMECHANIKA ALIGNEROWEGO LECZENIA ORTODONTYCZNEGO



Redakcja wydania polskiego
BEATA WALAWSKA-ZEJDLER



NANDA
CASTROFLORIO
GARINO
OJIMA

2

Biomechaniczne aspekty stosowania zaczepów kompozytowych w leczeniu nakładkowym

JUAN PABLO GOMEZ ARANG

Wstęp

W ciągu ostatnich 20 lat metody leczenia ortodontycznego z zastosowaniem nakładek znacznie się rozwinęły. Poprawa właściwości tworzywa, z którego wykonane są nakładki, rozwój oprogramowania do planowania leczenia ortodontycznego oraz zastosowanie druku trójwymiarowego umożliwiły przezwyciężenie biomechanicznych ograniczeń związanych z ortodontycznym ruchem zębów wywołanym nakładkami. Kolejnym ważnym krokiem w ominięciu biomechanicznych trudności systemów nakładkowych jest ciągły rozwój i udoskonalanie zaczepów kompozytowych wspomagających biomechanikę takiego leczenia. Zaczepy opracowano w taki sposób, aby umożliwić uzyskanie dodatkowych wektorów sił. Nacisk wywierany przez materiał nakładki na zaczep kompozytowy zmienia układ sił i umożliwia uzyskanie złożonych ruchów zębowych. Wprowadzenie pierwotnej geometrycznej formy zaprezentował zespół kliniczny Align Technology Inc. jako podstawową prostokątną strukturę 1×3 mm naklejoną na przedstonkową powierzchnię siekaczy dolnych w celu kontroli niekorzystnego nachylenia w kierunku łuki poekstrakcyjnej w przypadkach leczonych z usunięciem jednego z siekaczy (ryc. 2.1A) [1]. W sytuacji, gdy siekacze sąsiadujące z łuką zaczynają się nachylać, sztywna struktura zaczepu kompozytowego zaczyna kolidować z plastikowym materiałem nakładki, skutkując powstaniem pary sił przeciwstawnych do pierwotnego momentu sił, zmniejszając niechciane nachylenie (zob. ryc. 2.1B).

Konwencjonalne leczenie aparatem stałym cienkołukowym umożliwia uzyskanie złożonych systemów sił dzięki odpowiedniemu połączeniu zamka z drutem za pomocą ligatury. Takie połączenie umożliwia dokładną kontrolę wielkości i kierunku powstających sił i w konsekwencji przemieszczeń zębowych (ryc. 2.2).

Należy pamiętać, że zaczepy same nie *generują* sił, ale pasywnie „stają na drodze” plastikowego tworzywa nakładki i powodują jej elastyczne odkształcenie. Brak zgodności dopasowania zaczepu i nakładki generuje wektor siły przemieszczający ząb (ryc. 2.3).

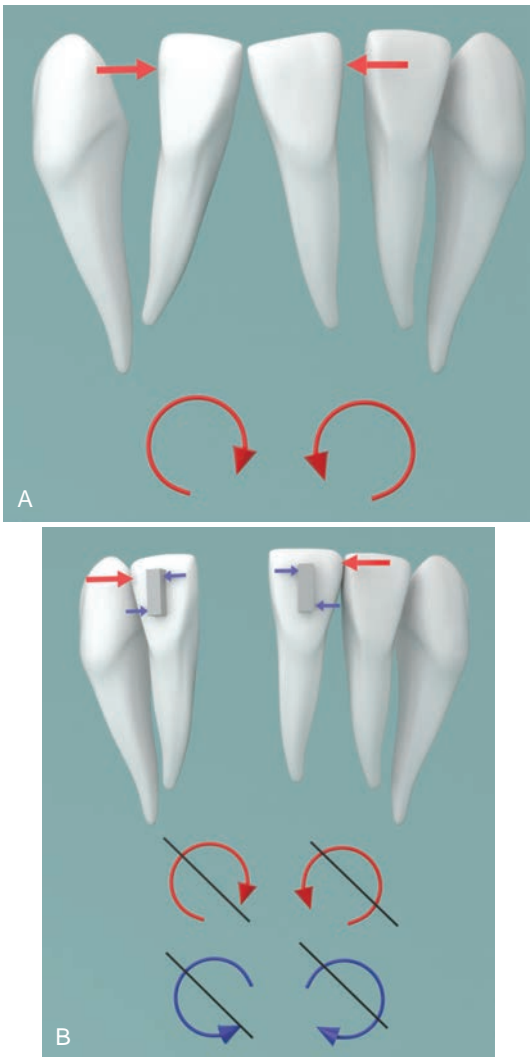
Biomateriały stosowane do wykonania zaczepów muszą spełniać wymogi adhezji, odporności na ścieranie, a także estetyki. Najnowsze badania [2] wskazują, że żywice kompozytowe z mikrowypełniaczem zapewniają wystarczającą od-

porność na ścieranie, zachowując stabilny kształt i spełniając daną funkcję przez cały proces leczenia. Mantovani i wsp. [3] wykazali, że zaczepy kompozytowe wykonane z żywicy typu *bulk* cechują się lepszą stabilnością wymiarów, a w przypadku rzadszych żywic dochodzi do większego skurczu polimerizacyjnego. Stosowanie przeziernych materiałów kompozytowych zapewnia odpowiednią estetykę i cechuje się odpornością na przebarwienia. Jeśli procedura klejenia zaczepów jest prawidłowa, nie powinny powstawać wolne przestrzenie (bąbelki powietrza) ani nadmiary materiału na powierzchni zęba [4].

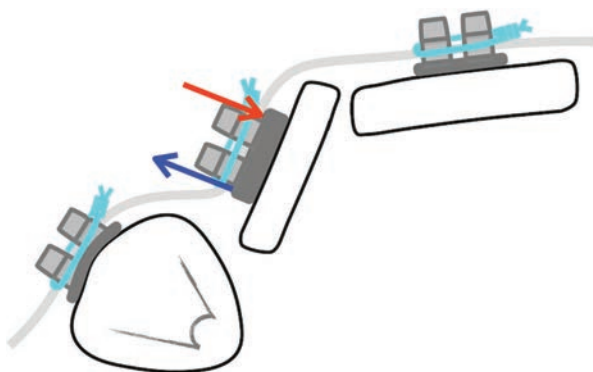
Rozważając optymalny projekt zaczepów kompozytowych należy dokładnie zaplanować ich kształt, położenie i rozmiar na powierzchni zębów w zależności od potrzeb sytuacji klinicznej.

Geometria (Kierunek Aktywnej Powierzchni)

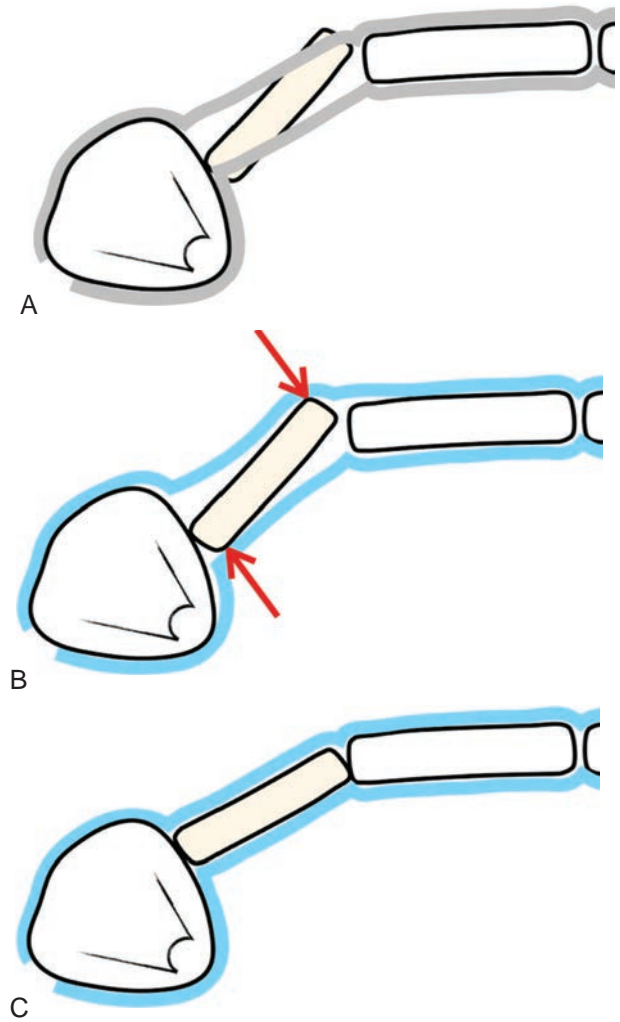
W chwili założenia nakładki siły ortodontyczne będą skutkiem złożonego wzoru braku dopasowania jej tworzywa do pozycji zębów. Według takiego wzoru elastycznego odkształcenia nakładki, skutkującego powstaniem siły ortodontycznej, projektuje się zaczepy kompozytowe. W cyfrowej symulacji planuje się powierzchnie zaczepów (powierzchnie aktywne), które będą kontaktowały z plastikowym tworzywem nakładki z ustaloną wielkością siły i w odpowiednim kierunku, skutkując określonym ruchem zęba. Nie wszystkie powierzchnie zaczepów będą kontaktowały z tworzywem nakładki. Powierzchnie aktywne nie tylko mogą, ale także powinny zostać precyzyjnie zaplanowane zgodnie z określonymi celami leczenia (ryc. 2.4A). Wielkość siły zależy od stopnia niedopasowania nakładki (a także właściwości materiału nakładki), natomiast kierunek jej działania określony jest przez ukierunkowanie powierzchni aktywnej. Zgodnie z zasadą mechaniki kierunek siły w przypadku interakcji dwóch obiektów (w tym przypadku kierunek nacisku na powierzchnię aktywną zaczepu) będzie zawsze prostopadły do powierzchni kontaktu (zob. ryc. 2.4B). Umiejętność wyróżnienia tych uzupełniających się wektorów sił w planowaniu leczenia jest szczególnie ważna, gdy równocześnie działa więcej niż jedna siła na ząb. W takich przypadkach wypadkowa tych sił musi zostać jasno określona, aby osiągnąć przewidywalne przemieszczenia zębów (zob. ryc. 2.4C).



Ryc. 2.1 (A) Momenty sił nachylające siekacze mezjalnie (czerwone okrągłe strzałki) jako skutek sił nacisku nakładek (czerwone strzałki) powstające podczas zamykania luki poekstrakcyjnej. Momenty sił przeciwdziałające nachyleniu (niebieskie okrągłe strzałki) jako skutek sił (niebieskie strzałki) oddziałujących na pionowe, prostokątne zaczepek (B). Przeciwstawne momenty sił niwelują się wzajemnie, skutkując ruchem osiowym zęba.



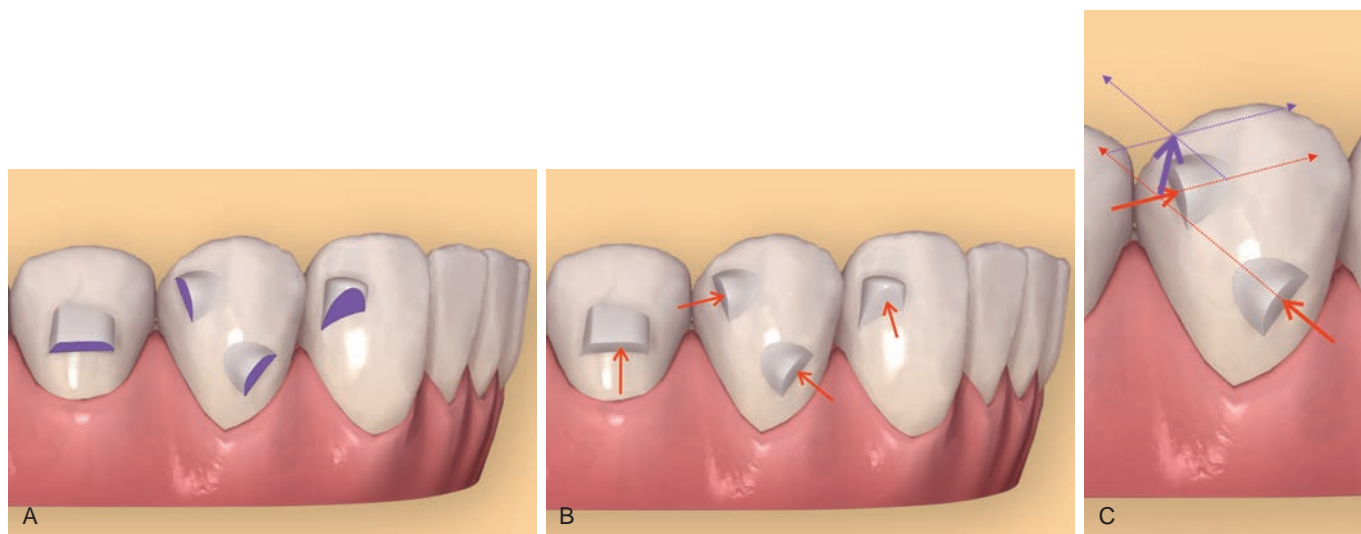
Ryc. 2.2 Para sił generowana podczas szeregowania zrotowanego siekacza w trakcie leczenia aparatem stałym cienkołukowym. Pełne dowiązanie łuku 0,014 NiTi do zamka powoduje powstanie dwóch wektorów sił: pierwszy naciska na podstawę slotu zamka (czerwona strzałka), drugi ciągnie w przeciwnym kierunku (niebieska strzałka).



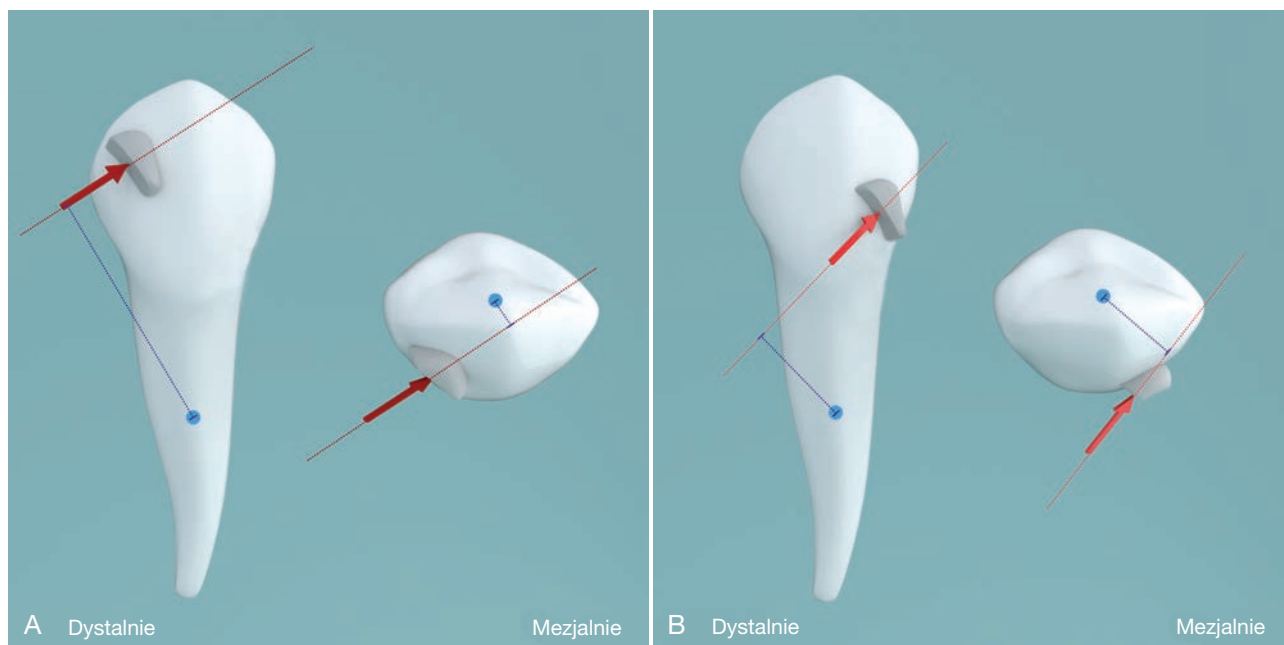
Ryc. 2.3 (A) Niedopasowanie nakładki do zęba. (B) Elastyczne odkształcenie tworzywa i powstanie sił po założeniu nakładki. (C) Uszeregowanie zęba po zastosowaniu sekwencji nakładek.

Umiejscowienie zaczepek

Zgodnie z zasadą, że wielkość momentu siły jest proporcjonalna do odległości miejsca przyłożenia siły od centrum oporu, aby w pełni zrozumieć wypadkowe siły powstające podczas stosowania nakładek, problem należy rozważyć w trzech wymiarach. W chwili, w której dokładnie określi się te zależności i obliczy wielkości sił i momenty, uzyska się pełny obraz efektywności oczekiwanych rotujących momentów siły, a także oceni ryzyko wystąpienia niechcianych ruchów, takich jak mezjo-dystalne lub policzkowo-językowe nachylenie czy intruzja zęba. W przypadkach, w których konieczna jest mezjalno-językowa rotacja zęba, umiejscowienie zaczepek A będzie skutkowało silnym momentem siły nachylającym mezjalnie koronę zęba i słabym momentem siły rotującym ząb w kierunku mezjalno-językowym (ryc. 2.5A). W takiej sytuacji klinicznej znacznie bardziej skuteczna byłaby lokalizacja B dla umiejscowienia zaczepek. Zmiana odległości miejsca przyłożenia siły od centrum oporu zęba zmniejszy niepożądane nachylenie i ułatwi jego rotację (zob. ryc. 2.5B).



Ryc. 2.4 (A) Powierzchnie aktywne zaczepów. (B) Wektory sił działające na powierzchnie aktywne. (C) Wypadkowa sił działająca na ząb przedtrzonowy będzie skutkowała ekstruzją i rotacją zgodną z ruchem wskazówek zegara.

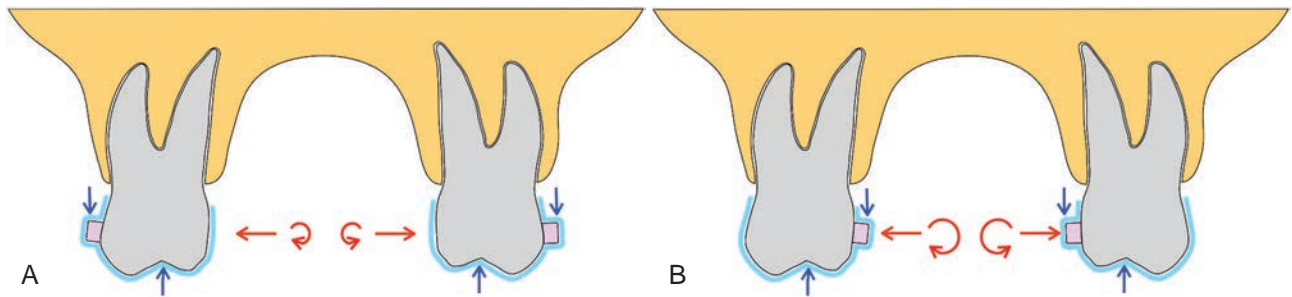


Ryc. 2.5 (A) Ze względu na odległość między miejscem przyłożenia siły (czerwona strzałka), a centrum oporu zęba (niebieska kropka) należy spodziewać się silnego nachylenia mezjalnego i niewielkiego momentu siły rotującego ząb mezjalnie i językowo. (B) Umieszczenie zaczepu bardziej mezjalnie i dowierchołkowo będzie skutkowało zmniejszeniem mezjalnego nachylenia korony oraz pozwoli uzyskać większy moment siły rotujący ząb mezjalnie i językowo, zwiększając skuteczność kliniczną.

Innym przykładem wpływu umiejscowienia zaczepów na przemieszczenia zębów jest przebieg ekspansji łuków zębowych, gdy przedścionkowe wychylenie koron zębów bocznych niweczy osiągnięcie planowanego efektu leczenia. Ostatnio opracowana (nieopublikowana) analiza elementów skończonych [5], badająca efekt lokalizacji prostokątnych zaczepów, wykazała większy moment sił wychylający przedścionkowo korony zębów trzonowych w przypadku językowego umiejscowienia zaczepów niż gdy umieszczone są na powierzchni policzkowej (ryc. 2.6).

Rozmiar zaczepów

Rozmiar zaczepu jest ważny z powodu jego wpływu na mechanikę leczenia, a także aspekty estetyczne. Mniejsze zaczepy są pożądane ze względu na ich zmniejszoną widoczność, jednak wraz z redukcją wymiarów zredukowane są także możliwości uzyskania przewidywalnych sił ze względu na mniejszą powierzchnię aktywną. Z drugiej strony większe zaczepy mają lepsze właściwości biomechaniczne, ale skut-



Ryc. 2.6 Przedmiotowe umiejscowienie zaczepów (A) powoduje mniejsze policzkowe wychylenie trzonowców netto niż umiejscowienie językowe (B) podczas ekspansji łuków zębowych.

kują silną retencją nakładek (z czym może wiązać się dyskomfort pacjentów), a także gorszym efektem estetycznym, szczególnie w przypadku zaczepów z wysoką podstawą na zębach przednich.

Funkcje zaczepów

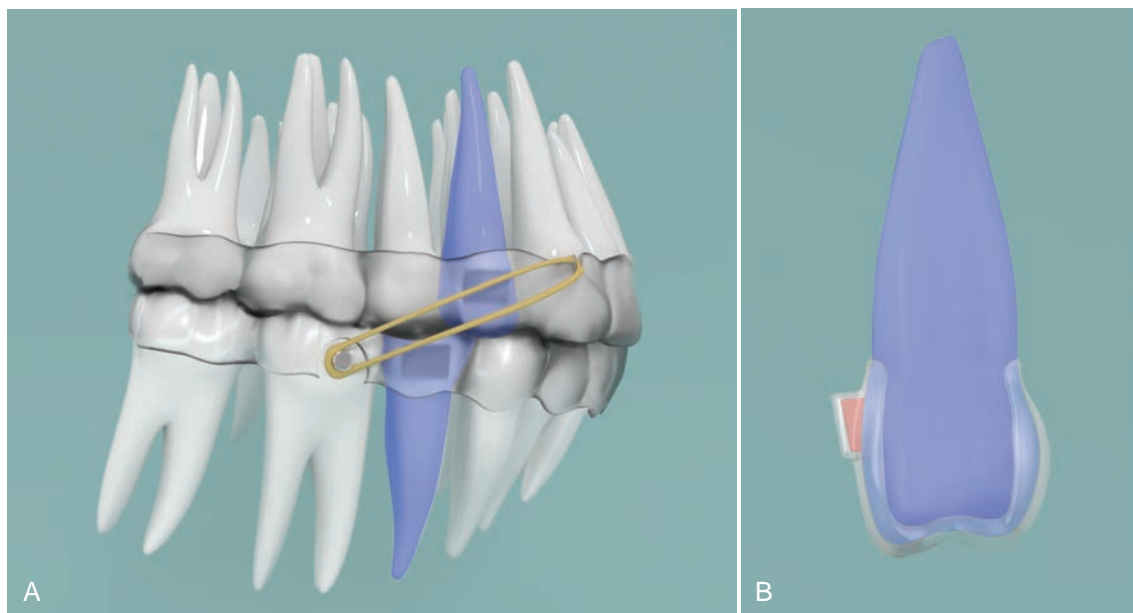
ZAPEWNIENIE PRAWIDŁOWEGO UTRZYMANIA NAKŁADEK

Dla uzyskania przemieszczeń zębowych zgodnych z symulacją cyfrową nakładki muszą stabilnie utrzymywać się na zębach od chwili ich założenia przez cały proces leczenia. Zdarza się, że słabe dopasowanie nakładki jest spowodowane wadą fabryczną samego aparatu, ale może także być skutkiem zbyt wielu sił powstających po nałożeniu prawidłowo wykonanej nakładki. Jako przykład można wskazać tendencję do spadania nakładki w odcinku przednim, gdy zadaniem aparatu jest intruzja zębów w odcinku bocznym, a także sytuacja odwrotna. Zastosowane międzyszczękowe

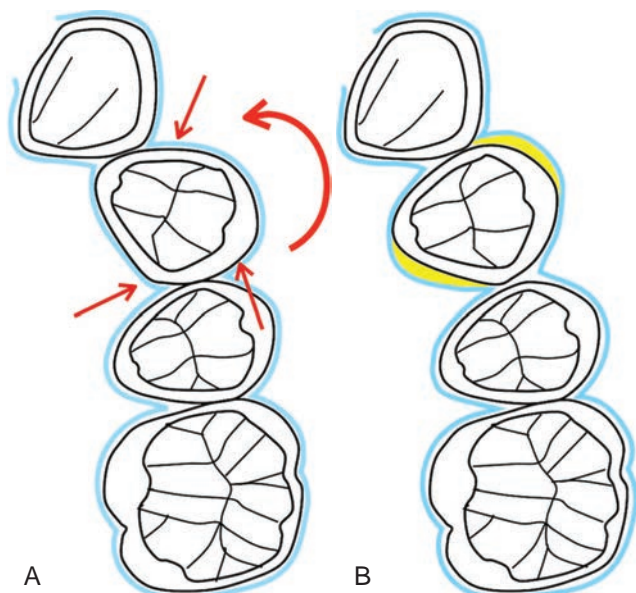
wyciągi elastyczne mogą powodować zsuwanie się nakładki w kierunku działania siły, zwłaszcza gdy są one zakładane bezpośrednio na nakładkę. Naklejenie zaczepów retencyjnych w okolicy zaczepiania wyciągów elastycznych wspomaga zachowanie odpowiedniego utrzymania nakładki na podłożu (ryc. 2.7A). Badanie Jonesa i wsp. [6] wskazuje, że w przypadkach, gdy konieczna jest idealna retencja nakładek, najwłaściwszą konfiguracją zaczepów jest zastosowanie kształtu bez ścięcia (ukośnienia) w kierunku dziąsłowym (np. poziomy prostokąt lub zaczep skośny w kierunku okluzyjnym) jak najbliższej szyjki zęba (zob. ryc. 2.7B). Jako generalną zasadę projektowania zaczepów należy uznać, że płaszczyny ukośne skierowane okluzyjnie ułatwiają zakładanie nakładki, a także zwiększają retencję (oraz dyskomfort pacjenta) podczas jej zdejmowania.

ZAPOBIEGANIE „ZEŚLIZGIWANIU SIĘ” NAKŁADKI

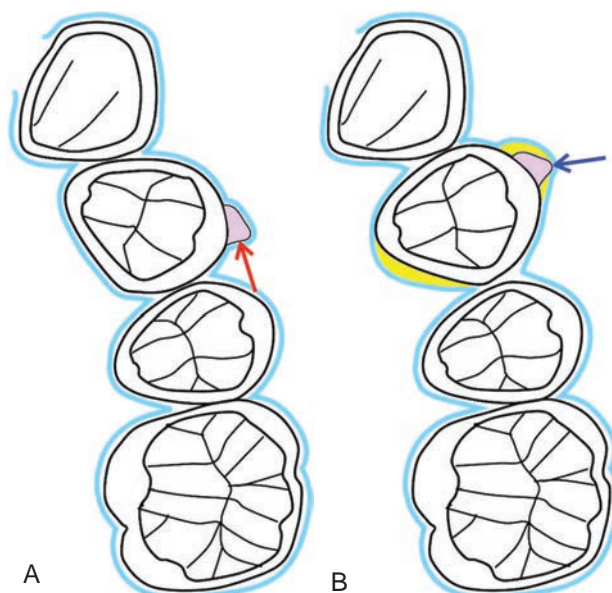
Szczególnie podczas odrotowywania zębów o okrągłym przekroju suma wszystkich sił stycznych do powierzchni korony będzie odpowiedzialna za przemieszczenie zęba (ryc. 2.8A).



Ryc. 2.7 (A) Zaczepy naklejone na zębach sąsiadujących z miejscem zakładania międzyszczękowych wyciągów elastycznych zwiększają utrzymanie nakładek. (B) Umiejscowienie zaczepu blisko dziąsła i nadanie mu kształtu skośnego w kierunku okluzyjnym znacznie zwiększa retencję nakładki na zębach.



Ryc. 2.8 (A) Siły styczne do powierzchni zęba (czerwone strzałki) działające podczas odrotowywania przedtrzonowca za pomocą nakładek. (B) Widoczna przestrzeń (żółte pole) między nakładką a powierzchnią zęba spowodowana efektem „ześlizgiwania się” i niepełną ekspresją ruchu rotacyjnego przedtrzonowca.



Ryc. 2.9 (A) Prawidłowo zaprojektowane zaczepy przyczyniają się do powstania dodatkowych wektorów sił koniecznych do uzyskania przewidywanego przemieszczenia zęba. (B) Podczas odrotowywania zębów może wystąpić „zmęczenie” polimeru nakładki i jej deformacja łącznie z niepełną rotacją zęba i w konsekwencji powstanie niezamierzonych wektorów sił (niebieska strzałka).

Niefektywne przemieszczenie nakładki (ślizganie się) względem powierzchni zęba zmniejsza skuteczność i przewidywalność systemu, a także powoduje brak pełnej ekspresji wirtualnie zaplanowanej rotacji zęba. Ząb nie przemieszcza się zgodnie z etapem leczenia, co klinicznie będzie objawiać się niepełną jego rotacją i przestrzenią między zębem a tworzywem nakładki (zob. ryc. 2.8B). Prawidłowo zaprojektowane zaczepy pozwolą nakładkom „zaprzeć” się o koronę zęba, znacznie ograniczając efekt „ześlizgiwania się”.

DOSTARCZANIE OKREŚLONYCH WEKTORÓW SIŁ

Podstawowym celem stosowania zaczepów w ortodoncji nakładkowej jest generowanie konkretnych, komplementarnych wektorów sił potrzebnych do uzyskiwania przewidywalnych przemieszczeń zębowych, których nie da się uzyskać stosując wyłącznie termoformowalne nakładki z dostępnych obecnie materiałów (ryc. 2.9A).

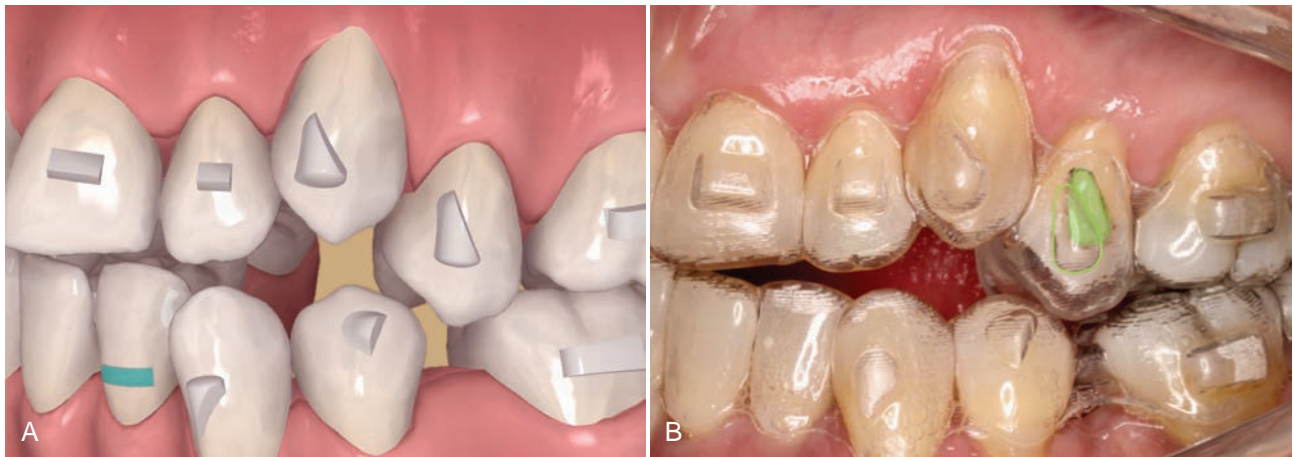
Aby wykorzystać pełny potencjał kliniczny klejonych zaczepów, tworzywa polimerowe nakładek muszą pokonać ograniczenia związane z ich higroskopijnością i właściwościami lepkosprężystymi. Po założeniu nakładki siły generowane przez elastyczne odkształcenie nie są stałe i ich wartość z czasem spada. Ta zależność spadku siły od czasu pod wpływem stałej deformacji nazywana jest zmęczeniem materiału (w tym przypadku polimeru nakładki) [7, 8]. Nierzadko w związku z niekorzystnym miejscowym odkształceniem nakładki (związanym ze złym dopasowaniem), brakiem odpowiedniej współpracy pacjenta lub wadą samego polimeru nakładka nie jest w stanie dopasować się do zaczepu. Jeśli siły wywierane na nakładkę przekraczają jej zdolność do elastycznego dostosowania się do nowej sytuacji, ząb pozostanie „z tyłu” i kontrola jego pozycji zostanie utracona (zob. ryc. 2.9B). Rycina 2.9 ukazuje wpływ tego zjawiska na brak

pełnej ekspresji oczekiwanego ruchu zęba, gdzie tylko 35 z 45 stopni przewidywanej rotacji udało się uzyskać w trakcie leczenia nakładkowego. W tym przypadku po zdjęciu nakładki ewidentnie widoczne jest odkształcenie tworzywa w miejscu złego przylegania. To zależne od czasu trwałe odkształcenie tworzywa nakładki pod wpływem stałej siły nazywane jest deformacją i wynika z przeorganizowania się łańcuchów polimerowych [9]. Należy podkreślić, że proces ten nie jest związany z przekroczeniem możliwości adaptacji elastycznej nakładki w związku ze zbyt dużą siłą, ale jest to odmienne zjawisko o charakterze mechaniczno-chemicznym, postępujące z upływem czasu.

Ta nieodłączna wada plastikowego tworzywa nakładki jest główną przyczyną braku stałości poziomów sił i odpowiada za największe zagrożenie niepowodzenia leczenia nakładkowego, czyli za utratę kontroli. Rycina 2.10 obrazuje przykład kliniczny tego złożonego zjawiska, gdy nie udało się w pełni uzyskać wirtualnie zaplanowanych, następujących przemieszczeń zębowych mezjalno-językowej rotacji oraz ekstruzji górnego lewego pierwszego przedtrzonowca. Brak pełnego dopasowania pomiędzy zaczepem kompozytowym a zagłębieniem w nakładce jest nieodzownym dowodem utraty kontroli w leczeniu. Najczęściej trzeba wtedy wykonać nowe, aktualne modele cyfrowe, na podstawie których zostaną wykonane nowe nakładki.

Podstawowe konfiguracje zaczepów stosowane w nowoczesnej ortodoncji nakładkowej

Ewolucja zaczepów wynikająca z coraz lepszego zrozumienia znaczenia kształtów, pozycji oraz wielkości zaczepów kom-



Ryc. 2.10 (A) Zdjęcie wirtualnego planu leczenia. (B) Brak podążania zębów za nakładką i w konsekwencji brak kontroli rotacji i ekstruzji górnego lewego przedtrzonowca. Widoczny brak dopasowania zaczepu (*pole zielone*) i zaślępienia w nakładce (*zielone obramowanie*).

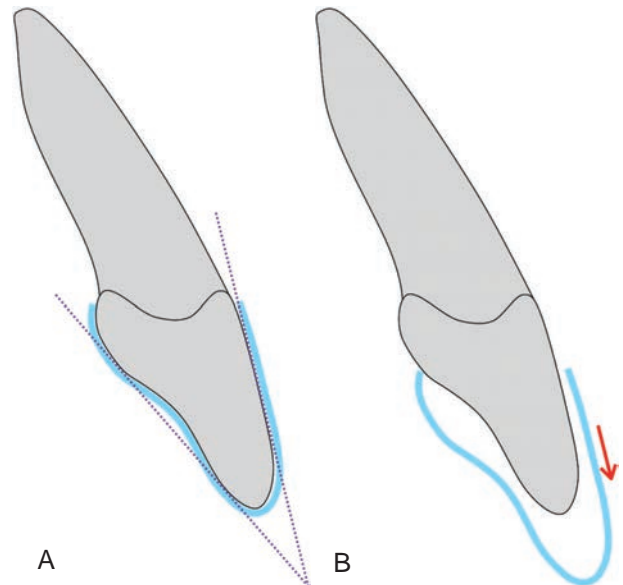
pozytywnych dla mechaniki leczenia zaowocowała dużą różnorodnością ich konfiguracji w zależności od wymagań biomechanicznych.

KONTROLA PIONOWA

Znana jest tendencja aparatów stałych cienkołukowych do zwiększania wymiaru pionowego, szczególnie u pacjentów ze zgryzem otwartym oraz zwiększoną przednią wysokością twarzy [10]. Wykazano, że leczenie nakładkowe może być skuteczną alternatywą w leczeniu zgryzów otwartych [11–13]. Sukces leczniczy jest najczęściej kombinacją zmian ortodontycznych powodujących doprzednią rotację żuchwy, intruzję zębów bocznych i ekstruzję zębów w odcinku przednim [14].

EKSTRUZJA ZĘBÓW PRZEDNICH

Korekta zgryzu otwartego przedniego wyłącznie poprzez ekstruzję zębów przednich powinna być rozważana bardzo ostrożnie ze względu na ryzyko resorpcji korzeni zębów, a także uszkodzenia tkanek przyzębia, niestabilność efektu i pogorszenie estetyki [15, 16]. Ponadto specyfika leczenia nakładkowego sprawia, że trudno jest uzyskać wydłużenie zębów przednich w powodu zwężania się koron zębów siecznych w kierunku brzegów siecznych w wymiarze wargowo-podniebiennym (ryc. 2.11A). W związku z ryzykiem braku prawidłowego utrzymania nakładki na zębach wirtualne planowanie ekstruzji nie jest możliwe bez zastosowania odpowiednich zaczepów kompozytowych (ryc. 2.11B). Skośna powierzchnia zaczepu skierowana do dziąsła (ryc. 2.12) zapewnia system sił umożliwiający przewidywalne uzyskanie tego rodzaju ruchu. Znaczenie projektu zaczepu dla ekstruzji zęba można wytłumaczyć poprzez uproszczone zilustrowanie złożonych wektorów sił. Wypadkowy wektor siły działający na siekacz pochodzi z interakcji dwóch czerwonych strzałek reprezentujących wargową i językową siłę podczas ekstruzji za pomocą nakładek (ryc. 2.13A). Zmniejszenie kąta między powierzchnią wargową zęba a powierzchnią aktywną zaczepu spowoduje zwiększenie wypadkowej siły wydłużającej ząb (zob. ryc. 2.13B). Należy

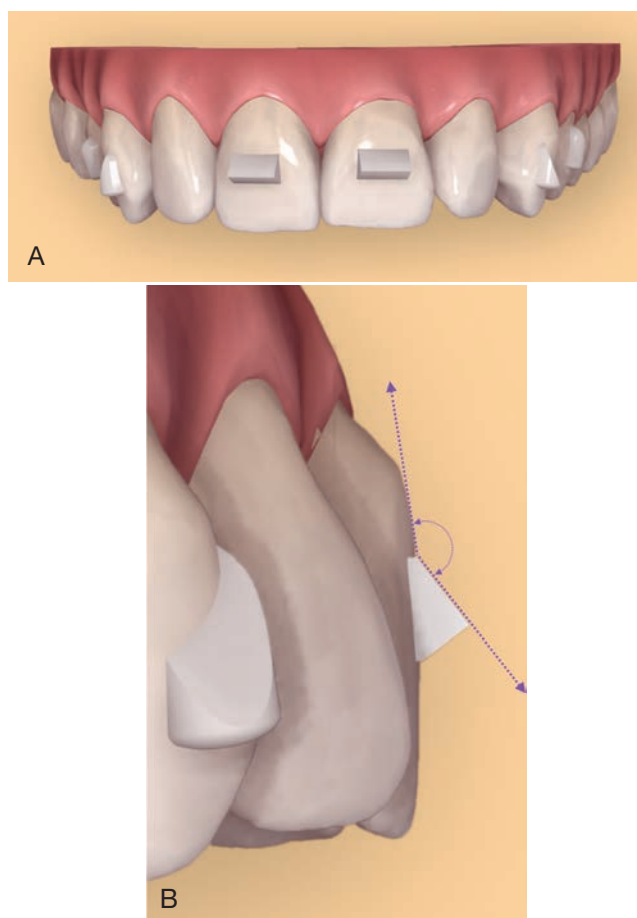


Ryc. 2.11 (A) Zwężanie się koron siekaczy w wymiarze wargowo-podniebiennym w kierunku brzegu siecznego. (B) Niekorzystne przemieszczanie się nakładki względem koron zębów podczas ekstruzji.

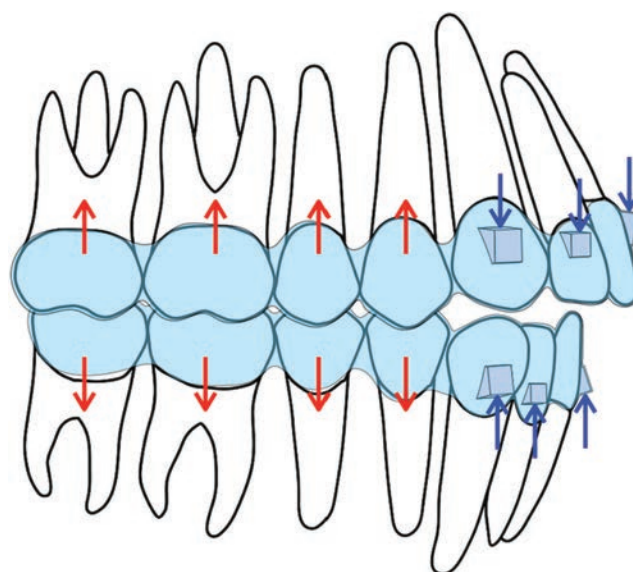
również pamiętać, że nadmierne zmniejszenie tego kąta będzie skutkowało większą siłą, ale także utrudnionym dopasowaniem się nakładki do zaczepu i ryzykiem odkształcania się tworzywa nakładki.

INTRUZJA ZĘBÓW BOCZNYCH

Ostatnie badania wskazują na działanie nakładek podobnie jak płaszczyzn nagryzowych i w efekcie wywoływanie intruzji zębów bocznych samą obecnością tworzywa nakładki na powierzchniach okluzyjnych tych zębów [17, 18]. Jest to szczególnie korzystne w przypadkach, w których należy unikać wydłużania koron siekaczy i dążyć do zamknięcia zgryzu otwartego w wyniku intruzji zębów bocznych i doprzedniej rotacji żuchwy. Jak już wspomniano, siły intru-

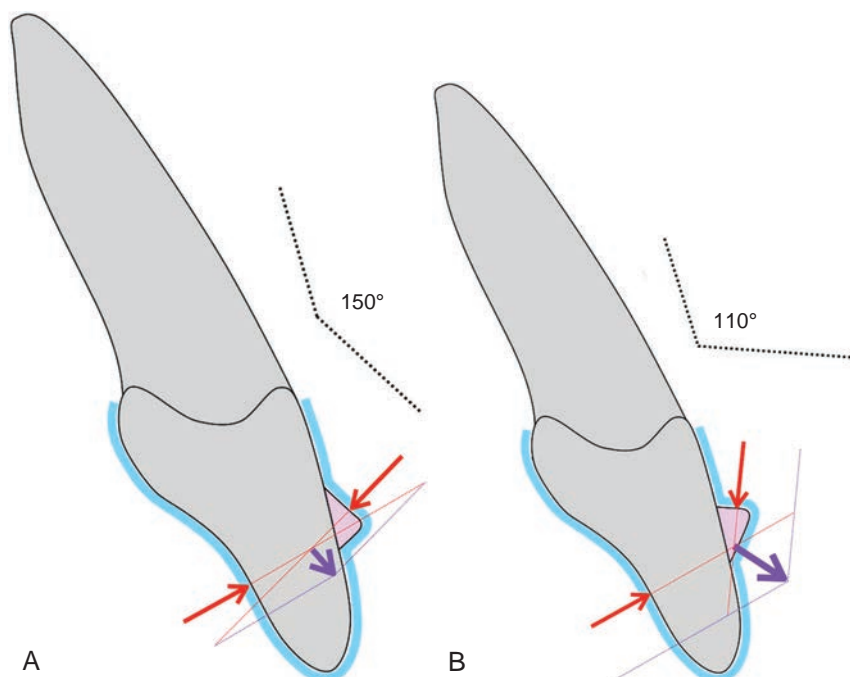


Ryc. 2.12 (A) Zoptymalizowane zaczepy do ekstruzji (Align Technology, Santa Clara, CA) dla siekaczy centralnych. (B) Odpowiednie nachylenie w kierunku dziąsła powierzchni aktywnej zaczepu.



Ryc. 2.14 Intruzja w odcinkach bocznych (czerwone strzałki) tworzy siły reakcji powodujące spadanie nakładki w odcinku przednim (niebieskie strzałki). Odpowiedni dobór zaczepów kompozytowych będzie zapobiegał temu niekorzystnemu efektowi.

zyjne działające w odcinkach bocznych będą powodowały spadanie nakładki w odcinku przednim. Nawet w przypadku stosowania niewielkich sił intruzyjnych należy spodziewać się przeciwnej, reaktywnej siły w odcinku przednim, która może przemieszczać nakładkę w płaszczyźnie pionowej (ryc. 2.14). Umieszczone przydziąsłowo poziome zaczepy ścięte w kierunku okluzyjnym powinny zapewnić odpowiednią stabilność nakładkom i umożliwić prawidłowy przebieg leczenia.



Ryc. 2.13 (A) Siły przekazywane przez nakładkę (czerwone strzałki) i wypadkowy wektor siły działający na ząb (fioletowa strzałka). (B) Zmniejszenie kąta pomiędzy powierzchnią wargową zęba a powierzchnią aktywną zaczepu skutkuje większą siłą ekstruzyjną działającą na ząb.

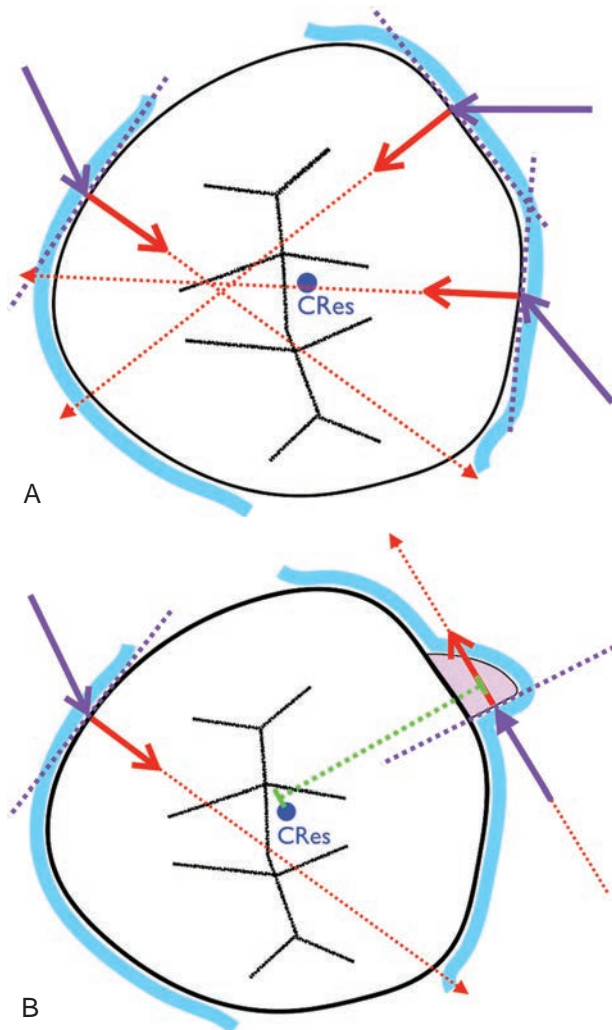
KONTROLA ZMIAN I RZĘDU

Rotacje

Odrotowywanie zębów o okrągłym przekroju koron, takich jak przedtrzonowce lub trzonowce, jest trudne do uzyskania nakładkami bez zastosowania zaczepów kompozytowych wspomagających biomechanikę [19].

Ograniczenia związane z takimi koronami są spowodowane trzema czynnikami:

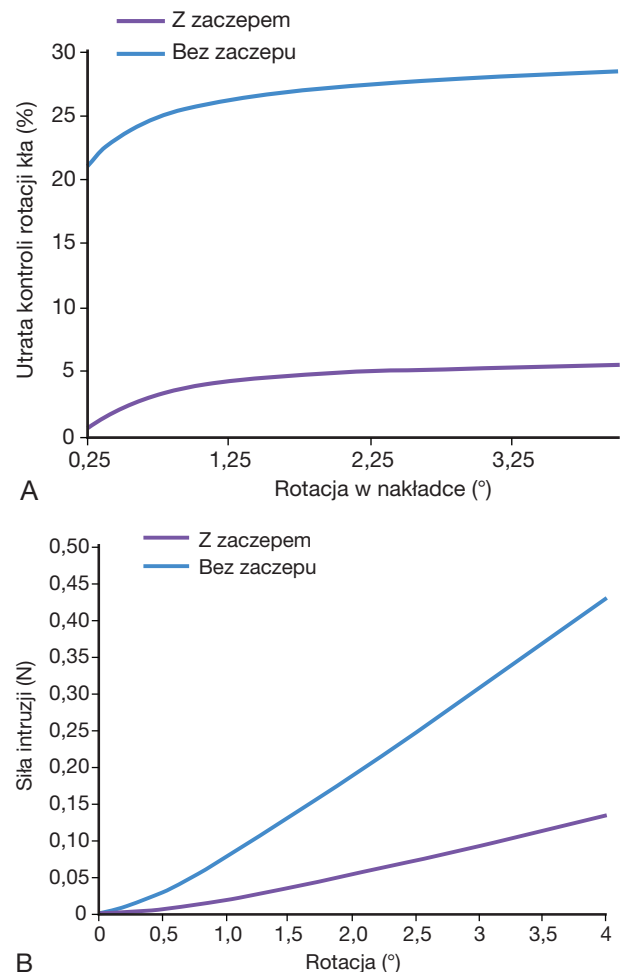
- Jak już wcześniej wspomniano, wektory sił styczne do powierzchni korony okrągłej w swoim przekroju łącznie z bardzo niskim tarcieniem między tworzywem nakładki a powierzchnią zęba powodują powstawanie niedopasowania, czyli efektu ślizgania na granicy ząb-nakładka.
- Linie wektorów sił działających na koronę zęba powstałych na skutek sił stycznych krzyżują się w niewielkiej odległości od centrum oporu zęba, skutkując niewielkim momentem siły (ryc. 2.15A). Trudności te można prze-



Ryc. 2.15 (A) Siły rotujące ząb generowane przez nakładkę (fioletowe strzałki) są przekazywane na ząb jako wektory sił (czerwone strzałki) prostopadłe do powierzchni stycznych zęba (fioletowe kropkowane linie). (B) Zastosowanie klejonych zaczepów kompozytowych zwiększa zakres i skuteczność momentu siły obracającego ząb. Zaczepy pozwalają na zwiększenie prostopadłej odległości (zielona kropkowana linia) centrum oporu zęba (CRes) od przebiegu linii siły (czerwona kropkowana linia).

zwyciężyć stosując zaczepy kompozytowe o prawidłowo ukierunkowanych powierzchniach aktywnych. Pozwala to na zmianę konfiguracji powstających wektorów sił i zwiększenie ich odległości od centrum oporu zęba (zob. ryc. 2.15B), skutkując większym momentem siły. Dodatkowo struktura kompozytowego zaczepu zapobiega ześlizgiwaniu się nakładki i umożliwia pełniejszą ekspresję zaplanowanego ruchu zęba.

- Innym efektem ubocznym zaobserwowanym zarówno w badaniach laboratoryjnych [20], jak i w praktyce klinicznej jest niechciana intruzja zęba podczas jego odrotowywania. W innym badaniu z użyciem analizy elementów skończonych [21] badacze wykazali, że podczas odrotowywania górnego kła nakładkami bez zastosowania zaczepów zęb nie podążał za nakładką w prawie 30%. Ponadto siły intruzyjne bez stosowania zaczepu były 3,71 razy większe niż w przypadku naklejenia zaczepu kompozytowego (ryc. 2.16). Ten sam model numeryczny z per-



Ryc. 2.16 (A) Bez zastosowania zaczepów ząb nie podążał za nakładką w prawie 30%. Z dodatkowym zaczepem kompozytowym efektywność uległa poprawie i ten niekorzystny efekt wyniósł jedynie 5%. (B) Siły intruzyjne oddziałujące na więzadło ożębnej bez zastosowania zaczepów kompozytowych wynosiły 0,078 N na jeden stopień rotacji, a w przypadku zastosowania zaczepów spadły do 0,021 N. ATT – zaczep kompozytowy. Z: Gómez JP, Peña FM, Valencia E, et al. Effect of composite attachment on initial force system generated during canine rotation with plastic aligners: a three dimensional finite elements analysis. *J Align Orthod.* 2018;2[1]:31-36.