

## 1. Miazga zęba

Tworzy ją tkanka łączna galaretowata, wypełniająca komorę i kanał korzeniowy zęba. Miazga komunikuje się z otoczeniem zęba przez otwór wierzchołkowy korzenia, który stanowi miejsce wejścia i wyjścia naczyń krwionośnych oraz włókien nerwowych.

### 1.1. Istota podstawowa miazgi

Obfita, silnie uwodniona istota podstawowa miazgi jest bogata w glikozaminoglikany oraz proteoglikany, stąd barwi się zasadochłonnie. W dojrzałym zębie głównym jej składnikiem jest kwas hialuronowy (ponad 50%), pozostałą część stanowią proteoglikany, podobne do występujących w zębinie, zawierające siarczany dermatanu i siarczany chondroityny. Stwarzają one środowisko wiążące wodę, regulują ponadto tworzenie włókien, a związany z błoną komórkową syndekan pośredniczy w oddziaływaniu czynników wzrostu na komórki miazgi.

Z białek niekolagenowych występują: fibronektyna, tenascyna oraz laminina, która oprócz typowej lokalizacji (w blaszkach podstawnych, np. kapilarów), opłaszcza odontoblasty i ich wypustki. Macierz zawiera ponadto enzymy, w tym metaloproteinazy i ich inhibitory oraz stanowi środowisko transportu licznych czynników regulacyjnych, wydzielanych zarówno przez komórki o lokalnym pochodzeniu (odontoblasty, fibroblasty, komórki śródbłonkowe naczyń) jak i komórki napływowe.

### 1.2. Włókna miazgi

W miazdze występują wyłącznie włókna zbudowane z kolagenu. Nie tworzą one pęczków, ich fibryle są cienkie a włókna przebiegają bezładnie w formie pilśni, najgęstszej w środkowym obszarze miazgi. W większości są one zbudowane z kolagenu typu I, ale występują także włókna siateczkowe zbudowane z kolagenu typu III (włókna Korffa, p. dalej) oraz niewielka domieszka kolagenów typu V i VI. W miazdze spotyka się również mikrofibryle zbudowane z fibryliny, brak w niej jednak uformowanych włókien sprężystych.

Wraz z wiekiem w miazdze przybywa włókien kolagenowych i u osób starszych budująca ją tkanka łączna galaretowata przekształca się w tkankę łączną wiotką.

### 1.3. Komórki miazgi

**1.3.1. Odontoblasty.** W obwodowym obszarze miazgi, na granicy z zębiną, występują wysokie (ok. 50 µm), wąskie odontoblasty, ułożone palisadowato na kształt nabłonka walcowatego.

Odontoblasty posiadają wypustki trzech rodzajów:

- (1) długa wypustka odchodząca od szczytu komórki wchodzi do kanalika zębinowego i biegnie w jego obrębie jako **włókno Tomesa**;
- (2) krótkie **wypustki boczne** łączą odontoblasty między sobą;
- (3) **wypustka miazgowa** odchodząca od podstawy komórki wchodzi w głąb miazgi.

Błona komórkowa odontoblastów zawiera:

- cząstki adhezyjne (integriny i kadheryny),
- liczne receptory regulujące różnicowanie odontoblastów oraz ich czynność wydzielniczą, w tym receptory dla hormonów, neuropeptydów i cytokin,
- transportery jonowe, głównie związane z transportem jonów wapnia.

Między odontoblastami występują wszystkie typy połączeń międzykomórkowych,

szczególnie liczne są połączenia szczelinowe łączące odontoblasty między sobą oraz z położonymi w ich pobliżu fibroblastami.

**1.3.2. Fibroblasty.** Spotykamy je we wszystkich rejonach miazgi, odpowiadają za odnowę składników jej substancji międzykomórkowej, a poprzez wydzielanie cytokin uczestniczą także w reakcjach obronnych.

**1.3.3. Mezenchymatyczne komórki macierzyste.** Rezydują w pobliżu naczyń krwionośnych, mogą się namnażać i różnicować w odontoblasty, komórki odontoblastopodobne, fibroblasty i komórki śródbłonkowe. Ich aktywność wzrasta przy uszkodzeniach zębiny i w stanach zapalnych. Odpowiadają za możliwości regeneracyjne miazgi i uczestniczą w procesie angiogenezy.

**1.3.4. Komórki dendrytyczne.** Stałym składnikiem miazgi są komórki dendrytyczne – profesjonalne komórki prezentujące antygeny. Znaczna część tych komórek jest zlokalizowana w warstwie odontoblastów. Ich wypustki wchodzą do początkowych, najszerszych odcinków kanalików zębinowych. Pozwala to na wcześniejsze uruchomienie reakcji immunologicznych na patogeny penetrujące poprzez kanaliki zębinowe, przed ich wniknięciem do miazgi.

**1.3.5. Inne komórki napływowe.** W miazdze spotykamy także limfocyty B, T i NK, makrofagi i granulocyty – głównie neutrofile (ich ilość gwałtownie zwiększa się w stanach zapalnych), a także nieliczne plazmocyty i mastocyty. Aktywacja makrofagów prowadzi do zwiększenia wydzielania interleukin prozapalnych, oddziałujących na wszystkie elementy komórkowe miazgi (odontoblasty, fibroblasty, komórki ściany naczyniowej, włókna nerwowe).

#### **1.4. Unaczynienie miazgi.**

Miazga jest silnie unaczyniona. Drobne tętnice, wchodzące przez otwór korzeniowy, a także przez jego boczne odgałęzienia. Biegają one w kanale korzeniowym i rozpadają się na naczynia włosowate tworzące sieć – silniej rozwiniętą w miazdze komory i szczególnie gęstą u podstawy odontoblastów. Pętle włosniczek wnikają również między odontoblasty aż do granicy z przębiną; w tych obszarach występują kapilary typu okienkowego; pozostała część miazgi zawiera kapilary typu ciągłego. Tętnice i żyły miazgowe są cienkościenne i łączą się licznymi anastomozami.

W części koronowej miazgi brak jest naczyń limfatycznych. Płyn tkankowy, który nie uległ drenażowi żylnemu, przemieszcza się do przywierzchołkowej części korzenia, skąd zbierają go limfatyczne naczynia włosowate, obecne tylko w tym rejonie miazgi.

#### **1.5. Unerwienie miazgi**

Miazga posiada bogate unerwienie, zarówno przez włókna o charakterze czuciowym (ból), jak i autonomicznym. Wnika do niej (we wspólnych pęczkach z naczyniami) około 2000 włókien, w większości (ok. 70-80%) niezmielinizowanych. Włókna tworzą w części zewnętrznej miazgi dwa połączone ze sobą sploty: **splot Raschkowa** leżący pod warstwą odontoblastów oraz drugi, tzw. **splot brzeżny**, zlokalizowany pomiędzy odontoblastami i tworzący sieć włókien nad nimi (pod przębiną), który zawiera włókna bezosłonkowe. Splot ten stanowi źródło włókien wchodzących do kanalików zębinowych i odpowiedzialnych za natychmiastowe ostre reakcje bólowe. Pozostałe włókna bólowe obecne w miazdze odpowiadają za ciągły, słabszy ból „ćmiący”, występujący w jej stanach zapalnych.

Autonomiczne włókna nerwowe mają głównie działanie naczynioruchowe i kończą się w ścianach naczyń. Wydzielane przez nie neuroprzekazniki wpływają również na czynność

komórek miazgi: pobudzają podziały fibroblastów oraz aktywność wydzielniczą fibroblastów i odontoblastów, a także regulują czynność śródbłonek naczyń naczyniowych.

## 1.6. Obszary miazgi

Komórki i pozakomórkowe struktury obecne w miazdze nie są w niej równomiernie rozmieszczone: w obwodowym (przyzębinowym) rejonie miazgi można wyróżnić dwie strefy bogate w komórki przedzielone strefą ubogokomórkową. Są to, zaczynając od obwodu:

- **strefa odontoblastów** ułożonych w koronie wieloszeregowo, a w korzeniu w jednym szeregu. Między odontoblastami występują komórki dendrytyczne, pętle kapilarów, włókna nerwowe, a także grube włókna siateczkowe zwane **włóknami spiralnymi Korffa**, które przebiegają od strefy bezkomórkowej i zakotwiczą się w zębinię;
- **strefa bezkomórkowa**: jasno zabarwiona, uboga w komórki, ale zawierająca liczne wypustki odontoblastów i fibroblastów, naczynia włosowate i włókna nerwowe, w tym splot Raschkowa, zlokalizowany na pograniczu ze strefą bogatokomórkową. Przez strefę bezkomórkową przechodzą włókna spiralne Korffa;
- **strefa bogatokomórkowa** (pośrednia), która stanowi zagęszczenie komórek na obwodzie pozostałego (centralnego) obszaru miazgi zwanego miazgą właściwą (p. dalej). Zawiera ona elementy sieci kapilarnej i splotu Raschkowa. Charakter bogatokomórkowy nadają tej strefie zarówno komórki miazgi, jak i śródbłonek naczyń oraz komórki Schwanna związane z włóknami nerwowymi;
- **miazga właściwa (strefa centralna)** stanowi przeważający, centralny obszar miazgi, zawierający większe naczynia i pęczki włókien nerwowych.

Opisane powyżej strefy miazgi widać wyraźnie tylko w części koronowej zęba.

## 2. Ozębna

Tworzy ją tkanka łączna wypełniająca szczelinę między korzeniem zęba a kością zębodołu. Szerokość szczeliny, a zatem i grubość ozębnej wynosi ok. 0,3 mm i jest większa w okolicy szyjki zęba niż w okolicy wierzchołka korzenia; wraz z wiekiem ulega zwężeniu, co może prowadzić do powstania lokalnych kościorostów (między kością wyrostka zębodołowego a cementem).

Ozębna spełnia dwie podstawowe czynności: mechaniczną, bowiem mocuje ząb w zębodole, i metaboliczną, gdyż odżywia cement i kość zębodołu (w tym zakresie jej rola jest identyczna z okostną).

Ozębną tworzą dwa typy tkanki łącznej: tkanka łączna włóknista o układzie regularnym, która tworzy więzadła (aparatus więzadłowy) zęba oraz tkanka łączna wiotka bogata w komórki, naczynia i włókna nerwowe.

Wytrzymałość mechanicznego połączenia zęba z zębodołem (szczególnie odporność na wkliniowanie) zależy od trzech składowych błony ozębnej:

- włókien kolagenowych tworzących aparat więzadłowy;
- nieściśliwej istoty podstawowej, która dzięki silnemu uwodnieniu wykazuje dodatnie ciśnienie;
- znacznej ilości krwi w charakterystycznych dla ozębnej szerokich naczyniach włosowatych i w żyłach tworzących splot wokół wierzchołka korzenia, tworzących rodzaj „poduszki hydraulicznej”.

### 2.1. Włókna ozębnej

W ozębnej dominują **włókna kolagenowe** zbudowane z cienkich fibryli (50 nm), tworzących włókna o grubości kilku mikrometrów, w obszarach więzadłowych ułożone równoległe do siebie (zwane włóknami głównymi). Między fibrylami występuje większa niż w typowych więzadłach ilość istoty podstawowej. Włókna zakotwiczą się z jednej strony w kości zębodołu, a z drugiej w cementie i są szczególnie liczne blisko rąbka (szczytowej krawędzi) zębodołu.

Oprócz typowego dla włókien kolagenu typu I występuje w nich również w znacznych ilościach kolagen typu III (ok. 25%). Nie tworzy on osobnych włókien (siateczkowych), ale wchodzi w skład włókien kolagenowych, w których oba typy kolagenu są związane silnymi wiązaniami chemicznymi. To niezwykle zjawisko może wynikać z bardzo szybkiej, niespotykanej gdzie indziej, wymiany kolagenu w ozębnej: włókna są rozkładane i następnie ponownie odtwarzane w ich częściach środkowych. Umożliwia to przesuwanie korzenia względem ściany zębodołu w trakcie wykluwania się zęba, a w okresie późniejszym zapewnia stałą odnowę aparatu więzadłowego podlegającego bardzo znacznym obciążeniom. W trakcie tej odnowy włókna nigdy nie są oddzielane od tkanek zmineralizowanych, gdyż ich ponowne umocowanie wymagałoby zbyt rozległej przebudowy kości i cementu.

Przestrzeń pomiędzy więzadłami wypełnia bardziej wiotka tkanka łączna zawierająca włókna zbudowane z fibryli o podobnej grubości, ale rozłożone rzadziej i mniej regularnie (włókna międzywięzadłowe).

Ze względu na ułożenie włókien głównych, wyróżniamy kilka grup więzadeł o odmiennym przebiegu:

- **więzadła skośne** (zawieszające): są najliczniejsze i występują prawie na całej długości korzenia. Skierowane są one ukośnie od ściany zębodołu w dół do korzenia i opierają się naciskowi, głównej sile działającej na ząb, przeciwdziałając jego wkliniowaniu w zębodół;
- **więzadło wierzchołkowe** (dawniej wachlarzowate): odchodzi od wierzchołka korzenia i przyczepia się do dna zębodołu. Zapobiega ono wysuwaniu się zęba z zębodołu;
- **więzadło poziome**: łączy górny odcinek korzenia z górną częścią zębodołu;
- **więzadło rąbka zębodołu** (dawniej pierścieniowe): łączy przyszyjkowy rejon korzenia z rąbkiem zębodołu – te dwa więzadła ograniczają boczne ruchy zęba;
- **więzadło przegrodowe** łączy przyszyjkowe rejony korzeni sąsiednich zębów, przebiegając poziomo ponad rąbkiem zębodołu;
- **więzadło międzykorzeniowe**: występuje jedynie w zębach wielokorzeniowych i łączy korzenie tego samego zęba w ich górnej (bliższej koronie) części;
- **więzadła dziąsłowe**: grupa więzadeł przebiegających w obrębie dziąsła (p. dalej).

## 2.2. Istota podstawowa ozębnej

Jest obfita, nawet w więzadłowych pęczkach włókien kolagenowych. Głównymi składnikami są kwas hialuronowy, niskocząsteczkowe proteoglikany: fibromodulina, dekoryna, lumikan i wysokocząsteczkowy, tworzący agregaty wersikan. Istota podstawowa zawiera glikoproteidy adhezyjne (fibronektynę, tenascynę) umożliwiające przywieranie fibroblastów do włókien.

## 2.3. Komórki ozębnej

Komórki ozębnej zlokalizowane są głównie w międzywięzadłowej tkance łącznej wiotkiej, a część z nich związana jest z powierzchnią cementu i kości zębodołu – choć topograficznie należą do tych struktur, odgrywają istotną rolę w funkcjonowaniu ozębnej.

**2.3.1. Fibroblasty.** Najliczniejszymi komórkami ozębnej są **fibroblasty**, które wytwarzają składniki włókien i istoty podstawowej oraz produkują i wydzielają enzymy

(metaloproteinazy) uczestniczące w przebudowie aparatu więzadłowego. Wydzielają one również szereg czynników regulacyjnych, wpływających na komórki odpowiedzialne za procesy obronne, a także prostaglandynę PGE<sub>2</sub>, która hamuje aktywację metaloproteinaz przez cytokiny prozapalne, co ma istotne znaczenie w ograniczaniu destrukcji układu więzadłowego w wyniku procesów zapalnych.

Fibroblasty ozębnej wykazują odporność na apoptozę (produkują czynniki hamujące ten proces). Obciążenia mechaniczne nasilają w nich produkcję kolagenu, a także wydzielanie czynników pobudzających aktywność innych komórek uczestniczących w przebudowie struktur związanych z ozębną.

**2.3.2. Komórki związane z kością lub cementem.** Należą do nich **komórki cemento- i osteogenne, cementoblasty, osteoblasty i osteoklasty**, które pokrywają powierzchnię cementu i tkanki kostnej zębodołu i uczestniczą w ich przebudowie.

**2.3.3. Komórki napływowe.** Na terenie ozębnej występują w zmiennej ilości **makrofagi, limfocyty, mastocyty i granulocyty**, uczestniczące w procesach obronnych. Ich liczba zwiększa się znacznie w stanach zapalnych.

**2.3.4. Komórki nabłonkowe.** Jako pozostałość rozwojową spotyka się **komórki nabłonkowe Malasseza**, rozrzucone nierównomiernie w całej ozębnej. Ich wapniejące grupy noszą nazwę pereł Malasseza. Podczas rozwoju korzenia komórki te wchodziły w skład jego nabłonkowej pochewki (Hertwiga-Bruna, p. Rozwój zęba). Komórki nabłonkowe Malasseza są oddzielone od łącznotkankowego otoczenia blaszka podstawną.

## **2.4. Unaczynienie ozębnej**

Ozębna jest silnie unaczyniona. Krew dopływa do niej przez tętnice zębodołowe górne i dolne, biegnące w kości i oddające szereg gałęzi wchodzących do ozębnej na różnej wysokości.

Naczynia włosowate o znacznej średnicy (ok. trzykrotnie szersze od przeciętnych) znajdują się pomiędzy więzadłami i tworzą sieć otaczającą korzeń zęba. W obszarze szyjki zęba kapilary tworzą okrężne układy pętlowe, zaopatrujące (wraz z kapilarami dziąsła) rejon połączenia szkliwno-nabłonkowego.

Żyły biegną niezależnie od tętnic, a ich układ jest szczególnie gęsty w otoczeniu wierzchołka korzenia. Wypełnione krwią żyły i szerokie kapilary tworzą wokół korzenia zęba „poduszkę hydrauliczną” amortyzującą działające na ząb obciążenia.

## **2.5. Unerwienie ozębnej**

Ozębna jest bogato unerwiona przez czuciowe (w większości zmielinizowane) i autonomiczne (niezmielinizowane) włókna nerwowe.

**Włókna czuciowe to:**

- włókna bólowe - reagują na bodźce mechaniczne, termiczne i zapalne;
- włókna przewodzące czucie z mechanoreceptorów (ciałek Ruffiniego) leżących pomiędzy włóknami kolagenowymi i rejestrujących ich napięcie. Ozębna zawiera szczególnie dużo tych ciałek, a ich układ – zgodny z kierunkiem działania rejestrowanych sił - jest odmienny w zależności od lokalizacji zęba: zęby przednie reagują silniej na siły działające pionowo a zęby trzonowe na siły poziome. Stymulacja tych włókien ma zasadnicze znaczenie dla reakcji adaptacyjnych i naprawczych układu więzadłowego.

**Włókna autonomiczne** mają charakter naczynioruchowy: zaopatrują ściany naczyń i regulują ich kurczliwość.

### 3. Dziaśło

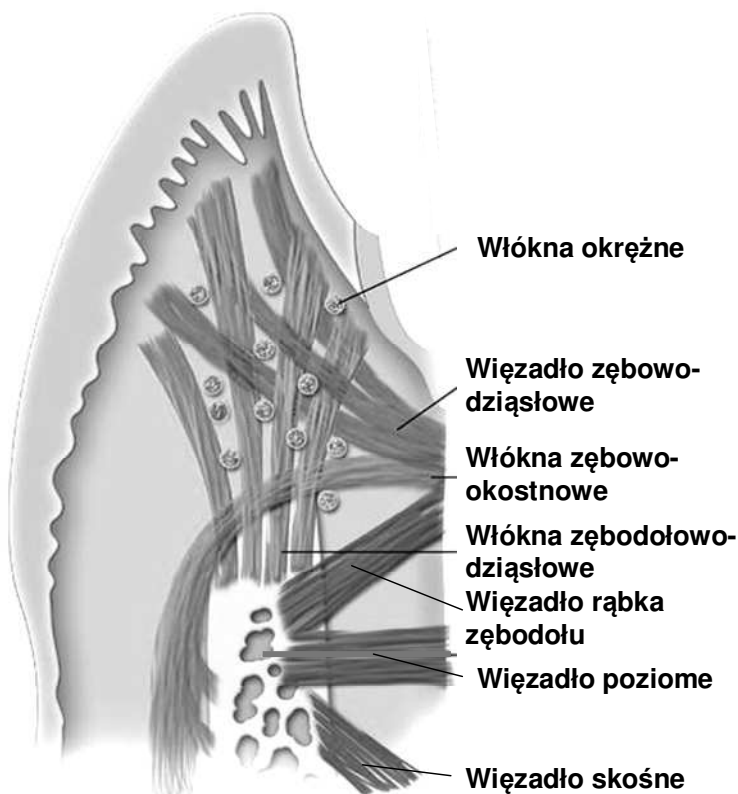
Jest tą częścią błony śluzowej jamy ustnej, która pokrywa wyrostki zębodołowe i otacza szyjki zębów. Podział dziąsła na obszary oraz charakterystyka pokrywającego je nabłonka zostały przedstawione uprzednio (zob. Jama ustna).

#### 3.1. Topografia włókien kolagenowych dziąsła

Błaszczkę właściwą dziąsła buduje zbita tkanka łączna, zawierająca pęczki regularnie ułożonych włókien kolagenowych, wchodzących w skład kilku więzadeł; pęczki różnią się przebiegiem i punktami przyczepu. Należą do nich:

- **włókna więzadła zębodołowego** łączące cement rejonu szyjki zęba z blaszką właściwą dziąsła;
- **włókna zębodołowo-dziąsłowe**, o wachlarzowatym układzie, które zakotwiczą dziąsło do kości w rejonie rąbka zębodołu;
- **włókna okrężne**, otaczające ząb w obrębie dziąsła brzeżnego i brodawek międzyzębowych. Nie przyczepiają się do cementu ani do wyrostka zębodołowego, mogą się łączyć z włóknami okrężnymi sąsiednich zębów;
- **włókna zębodołowo-okostnowe** łączą cement zębów z okostną zewnętrzną powierzchnią wyrostka zębodołowego, biegnąc półkolistą w blaszce właściwej dziąsła.

Między pęczkami włókien kolagenowych znajduje się nieco luźniejsza tkanka łączna, zawierająca większość komórek - fibroblasty, makrofagi i stosunkowo liczne mastocyty. W blaszce właściwej tej części dziąsła, która zwrócona jest do szyjki, występuje obszar szczególnie bogaty w limfocyty. Elementy istoty międzykomórkowej (włókna i substancja podstawowa) są tu podobne do występujących w pozostałych obszarach błony śluzowej jamy ustnej.



### 3.2. Unaczynienie i unerwienie dziąsła

W blaszce właściwej dziąsła występują podnabłonkowe sploty naczyniowe, szczególnie widoczne w rejonie szczeliny dziąsłowej. Również w obszarze złącza szkliwno-nabłonkowego (p. dalej) obecna jest podnabłonkowa sieć zbudowana z kapilarów i postkapilarów; przesiek z tych naczyń jest głównym składnikiem **płyну szczeliny dziąsłowej**. Płyn ten zawiera białka osoczowe, w tym immunoglobuliny oraz szereg składników pochodzących zarówno z krwi, jak i z płynu tkankowego. W stanach zapalnych, np. w przebiegu paradontozy (przyzębicy), jego skład ulega znacznym modyfikacjom (na korzyść różnych białek pochodzenia tkankowego), co jest czułym wskaźnikiem zaawansowania i charakteru zmian patologicznych. W płynie szczeliny dziąsłowej mogą się też znajdować migrujące z naczyń leukocyty – w zdrowym dziąśle płyn szczeliny chroni ten rejon przed rozrostem flory bakteryjnej.

Unerwienie dziąsła nie odbiega w zakresie charakteru włókien i rodzajów zakończeń nerwowych od innych obszarów wyściółki jamy ustnej.

### 3.3. Złącze szkliwno-nabłonkowe

W miejscu, gdzie dziąsło styka się z szyjką zęba, pokrywający je nabłonek wielowarstwowy płaski jest cieńszy, nierogowaciejący i schodzi po szkliwie w dół, tworząc na jego powierzchni, rodzaj silnie związanej ze szkliwem pochewki; obszar ten nosi nazwę **złącza szkliwno-nabłonkowego**. Nabłonek złącza stopniowo staje się coraz cieńszy i wykazuje niższy stopień zróżnicowania komórek: można w nim wyróżnić warstwę podstawną i powierzchniową (kilka pokładów spłaszczonych komórek). Komórki połączone są desmosomami i punktami przylegania.

Nabłonek złącza ma niezwykle charakter: tworzy mocne połączenia (półdesmosomy) na obu swych powierzchniach. Jedną powierzchnią łączy się (typowo) z blaszką podstawną (jest to tzw. zewnętrzna blaszka podstawna), a przez nią z blaszką właściwą błony śluzowej, drugą zaś ze szkliwem. Powstanie tego połączenia jest możliwe dzięki występowaniu na powierzchni szkliwa organicznej warstwy (pochodna błonki pierwotnej, tzw. wewnętrzna blaszka podstawna). Blaszką tą, mimo że jest wytworem nabłonka (podczas rozwoju zęba zostaje wytworzona przez ameloblasty), nie zawiera większości typowych składników: kolagenów typu IV i VII oraz perlekanu – zasadniczego proteoglikanu blaszek podstawnych i w związku z tym nie posiada typowej struktury sieci molekularnej. Ma również odmienny skład laminin; zawiera znaczne ilości tylko jednej z nich (lamininy-5), która jest tu głównym ligandem dla integryn półdesmosomów.

Rozdzielanie się złącza szkliwno-nabłonkowego w przebiegu paradontozy prowadzi do poszerzenia i pogłębienia szczeliny dziąsłowej, powstania głębokiej kieszonki zębowej, a w krańcowych przypadkach do odsłonięcia anatomicznej szyjki zęba.