

Wzrost i rozwój twarzoczaszki

Craniofacial growth and development

Mirosław Kulewicz

Klinika Chirurgii Dzieci i Młodzieży
Instytutu Matki i Dziecka w Warszawie

Streszczenie

Wzrost i rozwój twarzoczaszki jest procesem biologicznym poddanym wewnętrznej kontroli na poziomie tkankowym i komórkowym. Postęp w rozumieniu wzrostu i rozwoju ludzkiej twarzoczaszki rozwija się w oparciu o badania histologiczne i embryonalne, radiologiczną cefalometrię, korelacje pomiędzy wzrostem i nieprawidłowościami twarzy, przeglądy chirurgicznych interwencji, badania doświadczalne na zwierzętach oraz wiele danych z dziedziny badań podstawowych. Pomimo postępu w opisie i większym rozumieniu biologii struktur tkankowych twarzoczaszki, klinicyści nie mają możliwości wpływu na kontrolne mechanizmy tego procesu. [Acta Clinica 2002 2: 168-178]

Słowa kluczowe: wzrost twarzoczaszki, rozwój twarzoczaszki

Summary

Craniofacial growth and development is a biological proces having an intrinsic control system at the tissue and cellular levels. Progress in understanding human craniofacial growth and facial anomalies, review of surgical interventions, animal research, and numerous basic science fields. Despite advances in description and a greater understanding of biology of craniofacial tissues, clinicians have only a tentative grasp of controlling mechanisms. [Acta Clinica 2002 2: 168-178]

Key word: craniofacial growth, craniofacial development

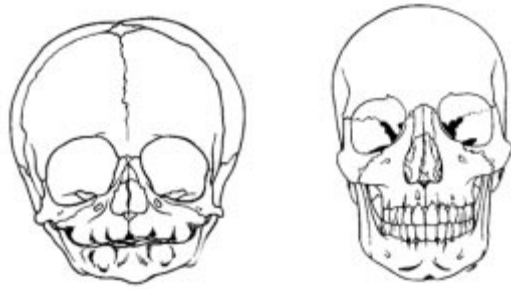
Wzrost czaszki

Wzrost głowy wywołuje powiększanie się jej wymiarów, jak też duże zmiany w jej proporcjach (ryc. 1). Twarz w drugim i trzecim trymestrze pozostaje mała i rośnie proporcjonalnie do czaszki. Przy urodzeniu, czaszka jest ukształtowana w 60% jej pojemności u osoby dorosłej, zaś twarz – w 40%. Odległość pomiędzy dolną granicą żuchwy a górną granicą oczodołu wynosi 40% czaszki noworodka i 60% czaszki dorosłego. Wysokość mózgowczaszki wynosi 60% wysokości czaszki noworodka i 40% u dorosłego. Można więc stwierdzić, że mózgowczaszka ma ośmiokrotnie większą pojemność niż twarzoczaszka przy urodzeniu, lecz tylko około dwukrotnie większą u dorosłego (4, 14). Żuchwa jest w tym

czasie niedorozwinięta, wykazując rozwarthy kształt i skrócenie gałęzi; a różnica między punktem *A* i Punktem *B* (kąt *ANB*) wynosi 14 stopni (2, 8).

U noworodka, górna i dolna wysokość twarzy wynosi 40% wymiarów dorosłego. W środkowej części twarzy dominują oczodoły, mieszczące prawie całkowicie rozwinięte gałki oczne. Ponieważ zatoki szczękowe są wymiaru grochu, więc dno oczodołu pokrywa się właściwie z podniebieniem. Żuchwa jest zbudowana z dwóch kości, połączonych spojeniem w linii pośredniej. Kąt żuchwy jest tak rozwarthy, że płaszczyna okluzji przechodzi przez głowę wyrostka kłykciowego (2, 3, 9).

Bezpośrednio po urodzeniu znikają ograniczenia we wzroście twarzy i twarz



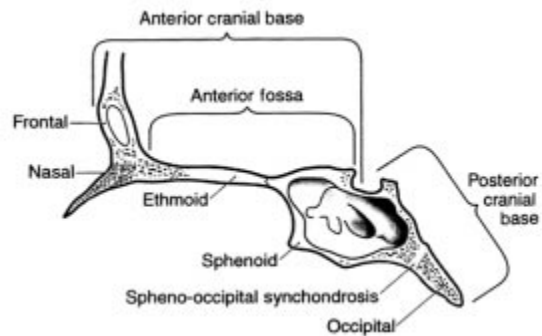
Ryc. 1. Czaszka noworodka i dorosłego

przyjmuje dysproporcjonalny wzorzec wzrostu. Ten wzorzec odzwierciedla się we wzroście dodolnym i doprzednim twarzy. Większe zaawansowanie wzrostu mózgu i czaszki, widoczne przy urodzeniu, jest również zauważalne w pierwszych latach życia. I tak, w trzecim roku życia czaszka ma prawie 90% pojemności dorosłego człowieka, podczas gdy twarz ma odpowiednio tylko 65%. Pourodzeniowy wzrost głowy u mężczyzn, trwający blisko 20 lat, jest zdominowany przez wzrost twarzoczaszki (11).

Duża retrogenia widoczna przy urodzeniu jest znacząco zmniejszana w pierwszych latach życia. Decydującym dla tego procesu jest wolniejszy wzrost doprzedni szczęki w porównaniu z doprzednim wzrostem żuchwy, obserwowany w pierwszych latach po urodzeniu. Po tym okresie różny wzrost szczęki i żuchwy doprowadza do zmniejszenia się wartości kąta ANB, jednak przeciętnie nie dochodzi nigdy do pełnej redukcji retrogenii.

Mózg spoczywa na podstawie czaszki i jest pokryty pokrywą czaszki. Trzon kości klinowej, jej mniejsze i większe skrzydła, kompleks wewnętrzny nosa i część podstawna kości potylicznej, jak też wyrostek sutkowaty kości skroniowej rozwijają się z chrząstki. Jednak po urodzeniu występują tylko niewielkie pozostałości *chondrocranium*, wśród których najważniejszymi są chrząstkozrost klinowo-potyliczny i chrząstki nosa. Pierwszy decyduje o wzroście podstawy czaszki, zaś drugi o wzroście środkowego piętra twarzy (4, 14).

Podstawy czaszki w opisie strzałkowym składa się z dwóch części (ryc. 2). Tylna część podstawy (*Basion-Sella*) wydłuża się głównie przez wzrost chrząstkozrostu klinowo-potylicznego (5). Przednia część podstawy czaszki (*Sella-Nasion*), używana w pomiarach cefalometrycznych, rozwija się ponad anatomicznym połączeniem kości nosowych z kośćmi czołowymi. Tak więc dystans od *Sella* do *Nasion* zwiększa się w czasie wzrostu dzięki szwom klinowo-sitowym i czołowo-sitowym jak też na skutek upowietrzania się kości klinowej i zatok czołowych.



Ryc. 2. Przekrój strzałkowy podstawy czaszki

Wzrost tylnej podstawy czaszki (*Basion-Sella*) jest częściowo odpowiedzialny, poprzez wyciągnięcie czaszki do góry i do przodu z jej stawów, za dostarczenie miejsca dla dodolnego zejścia twarzy. Rozszerzanie się chrząstkozrostu klinowo-potylicznego dokonuje się u obu płci nawet po ukończeniu dojrzewania. Wzrost jest jednak największy w wieku dziecięcym. Przy urodzeniu, podstawa ludzkiej czaszki osiąga 56% długości dorosłego człowieka, a w wieku 4,5 roku wymiar *Sella-Basion* osiąga 78% (mężczyźni) i 84% (kobiety) wymiaru dorosłego. Całkowity wzrost w wymiarze *Basion-Sella* wynosi 2 cm (5, 14).

Prawdziwy wzrost podstawy czaszki mierzony od *Sella* do *foramen cecum* kończy się ostatecznie w 8 roku życia. Całkowity wzrost wynosi około 11 mm, więk-

szość powyższego przyrostu ma miejsce do 3 roku życia. Używając do celów cefalometrycznych przedniej podstawy czaszki (*Nasion-Sella*) trzeba pamiętać, że kontynuuje ona swój wzrost nawet po okresie dojrzewania. Odległość *Nasion-Sella*, podobnie jak *Basion-Sella* wzrasta około 2 cm. Do połowy tego przyrostu dochodzi w czasie upowietrzania się zatoki czołowej w wieku 6–8 lat. Trzeba podkreślić, że wbrew późniejszemu wzrostowi i pneumatyzacji zatoki czołowej, wymiar *Nasion-Sella* już w wieku 4,5 roku osiąga 86% (kobiety) i 87% (mężczyźni) wymiaru dorosłego (4, 13, 14). W powiązaniu z różnym wzrostem mózgu, szwy przedniego dołu czaszki kończą wzrost na długo przed zakończeniem wzrostu przez chrząstkozrost klinowo-potyliczny na tylnej podstawie czaszki.

Wczesne dojrzewanie podstawy czaszki w stosunku do reszty głowy jest ważne dla diagnostyki cefalometrycznej. Określenie wzajemnych relacji szczęki i żuchwy do podstawy czaszki i każdej do siebie jest oparte na stabilności wielu anatomicznych płaszczyzn i punktów referencyjnych. Choć podstawa czaszki nie dokonuje całkowitego przerwania swojego wzrostu w wieku dojrzewania, to jednak wymiary jej zmieniają się tylko o mały procent (14).

Szwy znajdują się tylko w głowie i bez nich trudno byłoby wyobrazić sobie wzrost i rozwój skomplikowanej struktury czaszki. Występują one w pokrywie czaszki, gdzie odpowiadają za dostosowanie się pojemności mózgowo-czaszki do szybko rosnącego mózgu. Wspólnie z ciemiączkami pełnią istotną rolę podczas przechodzenia głowy przez kanał rodny. W pokrywie czaszki występuje system szwów strzałkowych, koronowych i węglowych jak też czasowy szew dzielący kości czołowe. Ten ostatni szew jest odpowiedzialny za szybkie poprzeczne rozszerzanie się czaszki w życiu płodowym i po urodzeniu.

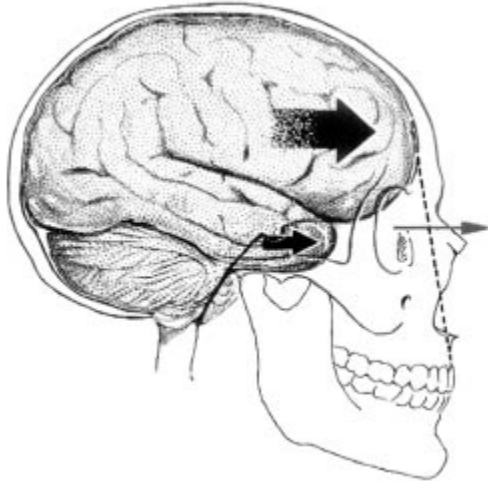
Pojemność czaszki która w pierwszym roku życia wynosi 50% pojemności dorosłego wzrasta do 75% w trzecim roku życia i 90% w 7 roku życia (5, 13). Blisko połowa pourodzeniowego wzrostu mózgu ma miejsce w czasie pierwszych lat życia. Średni obwód głowy noworodka wynosi 35 cm. Wymiar ten powiększa się o 5 cm podczas pierwszych 4 miesięcy i o 10 cm podczas pierwszego roku życia. Pozostałe 10 cm przyrostu ma miejsce pomiędzy 1 rokiem życia a wiekiem dojrzałym. Szybki i przewidywalny przyrost obwodu głowy służy pediatrom jako wskaźnik prawidłowego rozwoju dziecka.

Przednie ciemiączko (w miejscu przecięcia się szwów strzałkowych i koronowych) zamyka się w wieku od 6 do 20 miesięcy. Tylne ciemiączko (w miejscu przecięcia szwów strzałkowych i węglowych) zamyka się w wieku 3 miesięcy. Szew dzielący kości czołowe zanika w 7 miesiącu życia. Zamknięcie koronowych i strzałkowych szwów zaczyna się w wieku lat 30., zaś szwów węglowych w wieku 40 lat (14).

Chociaż kości pokrywy czaszki są pochodzenia błoniastego, zaś kości podstawy czaszki są pochodzenia chrzęstnego kości te łączą się podczas wzrostu w jedną funkcjonalną całość. To połączenie jest możliwe dzięki współdziałaniu systemu szwów pokrywy czaszki i chrząstkozrostu skrzydłowo-potylicznego. Współdziałanie to gwarantuje, że mechanizm wzrostu czaszki szwowy i chrzęstny, działa tak, że rozszerzanie się mózgu nie jest nigdy zaburzone.

Chociaż dryft – proces powiększania się kości powodowany przez występowanie apozycji na jednej powierzchni kości i resorpcji na drugiej, mógłby być skuteczny jako proces powiększania się czaszki, jednak tego procesu nie obserwujemy. Zamiast tego na powierzchni wewnętrznej jak też na zewnętrznej obserwuje się apozycje kości, która doprowadza do ciągłego powiększania się grubości pokrywy czaszki.

Dostosowywanie się kości czaszki do rosnącego mózgu jest osiągnięte poprzez wzrost w szwach, a kości pokrywy czaszki niejako pływają na tkankach miękkich położonych poniżej (2, 4) (ryc. 3).



Ryc. 3. Kierunek wzrostu mózgu u człowieka. Grubość strzałki obrazuje intensywność procesu

Szwy pokrywy czaszki są przykładem dostosowawczej natury tych struktur. W większości szwy nie wywołują sił rozdzielających od siebie tkanki i nie wykazują niezależnego wzrostu. Wykazują tylko prostą adaptację do wzrostu mózgu. Na przykład czaszka u dziecka z mikrocefalią wykazuje wymiar tylko proporcjonalny do mózgu. W przeciwieństwie w klinowo-potylicznej chrząstkozroście mamy do czynienia z śródmiażdżowym rozszerzaniem się chrząstki, która doprowadza do rozdzielania kości potylicznej i klinowej.

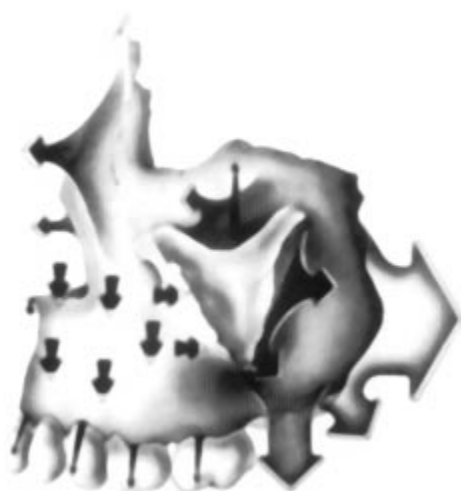
Wzrost i rozwój środkowej części twarzy

Środkowa część twarzy składa się z jamy nosowej, oczodołów i ich ograniczeń, zatok szczękowych, wyrostka zębodołowego szczęki i zębów. Główną kością środkowego piętra twarzy jest szczęka, poza tym kość czołowa, lemiesz, kości łzowe, podniebienne, jarzmowe, nosowe, klinowe oraz

małżowiny nosowe. Trzy ostatnie składowe rozwijają się na podłożu chrzęstnym, zaś pozostałe na podłożu błoniastym. Szczęka jest w momencie urodzenia krótka w wymiarze pionowym, ale szybko przyrasta, tak, że w 3 roku życia osiąga już 1/3 swego ostatecznego wymiaru. Górna wysokość twarzy przyrasta po urodzeniu intensywnie; w wieku 1,5 roku przyrost stabilizuje się osiągając 43% całkowitej wysokości twarzy dorosłego (2, 3, 4).

Chociaż jest zrozumiałe, że wzrost środkowego piętra twarzy jest trójwymiarowy, to dominuje wzrost pionowy. Określenie centrum wzrostu jest jednak bardzo trudne, gdyż środkowa część twarzy jest bardzo ściśle związana z podstawą czaszki, i wzrost tej struktury wpływa znacznie na wzrost środkowego piętra twarzy. Każdy poprzedni wzrost podstawy czaszki pociąga za sobą poprzednie przemieszczenie struktur środkowego piętra twarzy (13). Nie znaczy to jednak, że mamy tu tylko do czynienia z pasywnym przemieszczeniem się struktur, bez aktywności wzrostowej skierowanej do przodu. Z badań cefalometrycznych wynika, że poprzedni wzrost środkowego piętra twarzy trwa dalej po zakończeniu w wieku 8 lat wzrostu podstawy czaszki. Jak wiadomo, dystans pomiędzy *Sella* a *Nasion* powiększa się tylko dzięki rozwojowi zatok kości czołowej. Kąt *SNA* pozostaje cały czas niezmienny u danego osobnika, i na pewno nigdy się nie zmniejsza (3, 14). Nawet przy przesunięciu poprzednim szczęki kąt *SNA* pozostaje stabilny, gdyż równocześnie mamy do czynienia z apozycją kostną w rejonie zatok czołowych. Szczęka przemieszcza się do przodu, póki wzrost twarzy nie jest ukończony.

Wzrost szczęki zachodzi więc według schematu: tylny wzrost – poprzednie przemieszczenie (11, 13, 14) (ryc. 4). Określenie to należy rozumieć jako powstawanie nowej tkanki z tyłu, co wywołuje poprzednie przemieszczenie całej kości. Szczęka



Ryc. 4. Sumaryczny diagram przedstawiający wzrost szczęki. Kierunek wzrostu zależny od resorpcji – przedstawiony jako strzałka skierowana w kierunku kości, kierunek wzrostu zależny od nadbudowy kości – przedstawiony jako strzałka skierowana na zewnątrz kości. Grubość strzałek odpowiada intensywności wzrostu w poszczególnych regionach

wydłużając się w okolicy swego guza daje miejsce dla kolejno rozwijających się trzonowców. Przestrzeń dla tej nowej kości wyrostka zębodołowego jest uzyskiwana przez popychanie szczęki w kierunku przednim. To dodawanie nowej tkanki od tyłu jest główną przyczyną wzrostu doprzedniego szczęki, oprócz tego podczas ekspansji szwu międzyszczękowego mamy do czynienia z niewielkim wzrostem w przedniej części szczęki.

Przemieszczenie doprzednie i dodolne szczęki jest możliwe dzięki szwom łączącym środkową część twarzy z podstawą czaszki (czołowo-szczękowy, jarzmowo-szczękowy, jarzmowo-skroniowy, klinowo-podniebienny) (ryc. 5). Podobnie jak to ma miejsce w pokrywie czaszki, ich rola jest dostosowywująca do wzrostu, nie zaś inicjująca wzrost.

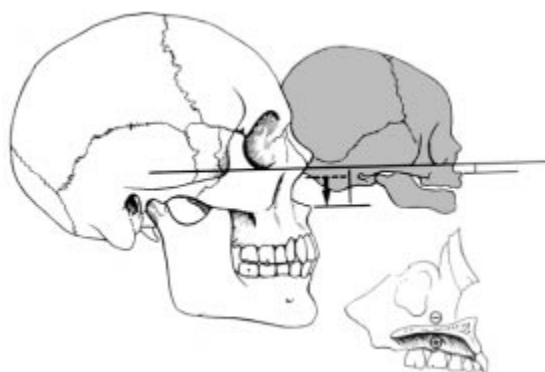
Pionowy wzrost szczęki, w przeciwieństwie do wzrostu doprzedniego nie można jedynie określić jako przemieszczenie, choć jest tu także zauważalny istotny komponent przesuwania. Poznanie wzrostu twa-



Ryc. 5. Skoordynowana resorpcja (-) i nadbudowa (+) powoduje przemieszczenie się szczęki do dołu i do przodu (ciemne strzałki)

rzy umożliwiły badania Bjorka i Skillera (1, 2, 3) – zastosowanie metalowych markerów implantowanych w kościach twarzy. Zgodnie z ich rezultatami, szczęka wzrasta w kierunku dolnym poprzez przemieszczenie w przybliżeniu 43%, podczas gdy apozycja wyrostka zębodołowego szczęki jest odpowiedzialna za pozostałe 57% wzrostu dodolnego. Podstawa nosa opuszcza się 61%, wskazując, że dryft jest dodawany do dolnego ruchu powodowanego przez dolne przemieszczenie. Kombinacja dryftu i przemieszczenia podwaja pionowy wymiar szczęki, pomiędzy okresem noworodkowym a dojrzałością (ryc. 6).

Istnieją różnice zdań odnośnie do czynnika odpowiedzialnego za przemieszczenie w środkowym piętze twarzy. Jedna



Ryc. 6. Wzrost dodolny podniebienia i wyrostka zębodołowego szczęki na skutek nadbudowy (+) i resorpcji (-). Strzałka przedstawia przyrost wysokości jamy nosowej

z teorii głosi, że chrząstki nosa są siłą kierującą tym procesem (13). Koncepcję tą uzasadnia kilka anatomicznych cech. W momencie urodzin, przyszła przegroda nosa jest właściwie wystającą chrzęstną strukturą połączoną z resztką *chondrocranium* występującą powyżej. Więzadło przegrodowo-szczękowe płodu przyczepiające się do boków i przednio-dolnej granicy przegrody nosowej, przyczepione do kolca nosowego przedniego przekazuje wzrost przegrody popychając szczękę. Podczas konwersji nosowych chrząstek w kość, dochodzi do śródmiaższowej ekspansja zrębu. Tak więc, podczas dodolnego i doprzedniego powiększania się, chrząstki ślizgają się wzdłuż rowka lemiesza i pociągają tym samym szczękę. Chrząstki nosa przemieszczają szczękę dodolnie i doprzednio rozdzielając szwy, które łączą szczękę z podstawą czaszki.

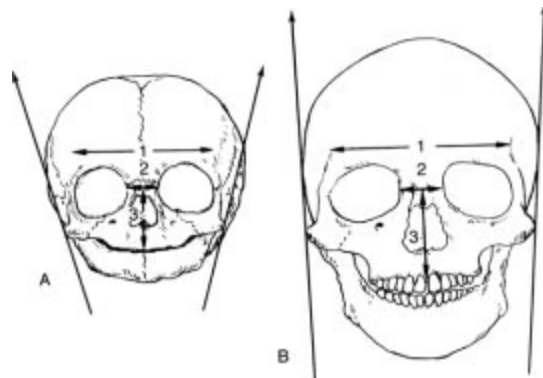
Mimo wszystko teoria ta ma też słabe strony. Wraz z wiekiem ta struktura staje się mniej wystającą, i nawet w dzieciństwie nie ma już wystarczającej wielkości aby mogła odpowiadać za cały ruch dodolny i doprzedni szczęki. Chociaż może istotnie wpływać na wzrost twarzy, to muszą też być inne istotne czynniki wpływające na ten proces.

Oczodoły są wystającymi częściami twarzoczaszki. Embriologicznie oczy rozwijają się bocznie w stosunku do głowy, po czym podejmują migrację do pola ocznego w czasie ciąży i po urodzeniu. W 5 tygodniu osie oczu przecinają się pod kątem 180 stopni, kąt ten zmniejsza się stopniowo i przy urodzeniu wynosi on 71 stopni. Czołową migrację kontynuują powoli aby w wieku dorosłym osiągnąć 68 stopni (4, 14).

Po urodzeniu szerokość oczodołu powiększa się około 52%, zaś wysokość oczodołu wzrasta o 76%. Przedni wymiar między-oczodołowy wzrasta 91%, co w rzeczywistości znaczy iż oczodoły oddalają się od

siebie o około 1 cm. Szerokość wzrasta o 1,4 cm, zaś wysokość o 1,5 cm; zmiany te następują do 8 roku życia.

Separacja oczodołów i wzrost wymiaru bocznego jest wynikiem znaczącego poprzecznego wzrostu szczęki podczas pierwszych lat życia po urodzeniu (ryc. 7).



Ryc. 7. Zmiany w morfologii czaszki od okresu noworodkowego (A), do wieku dojrzałego (B).

1 = szerokość czaszki, 2 = odległość między oczodołami, 3 = wysokość szczęki

Szerokość czaszki wzrasta szybko dzięki istnieniu w tym okresie systemu szwów pośrodkowych przechodzących przez podstawę czaszki i szczękę. Wynoszące prawie 0,5 cm poszerzenie wymiaru między-oczodołowego jest prawdopodobnie wynikiem poprzecznego poszerzania się podstawy czaszki. Wzrost szerokości jarzmowej pozostaje w tyle za wzrostem szerokości podstawy czaszki w tym wieku. Stosunek ten ulega wyrównaniu gdyż po zakończeniu poszerzania się podstawy czaszki, kości jarzmowe mają tendencję, do coraz większego wystawiania.

W pierwszych latach po urodzeniu składniki pośrodkowego systemu szwów zrastają się, przez co ogranicza się możliwość dalszego poprzecznego poszerzania czaszki. Składnikami tego systemu są: szew czołowy do otworu ślepego, obustronne szwy wokół blaszki sitowej, szwy pomiędzy trzonem kości klinowej a jej skrzydłami większymi i mniejszymi szczelina pomiędzy

dzy częścią skalistą kości skroniowej a kością klinową. Z systemu tego pozostają nie zamknięte nawet w okresie dorosłym jedynie szwy kości nosowych i szczęki (14).

Wymiar pomiędzy kośćmi jarzmowymi wzrasta nawet w wieku dorosłym dzięki boczemu przemieszczeniu i dryftowi kości jarzmowych. Przemieszczenie boczne wyrostków jarzmowych zwiększa przestrzeń dla mięśni skroniowych i zachowuje poprzeczny stosunek z ciągle poszerzającą się gałęzią żuchwy.

Ponieważ przyrodzony wymiar międzyoczodołowy zmienia się niewiele, przeto wzrost wymiaru zewnętrznego między oczodołami jest wskaźnikiem ich powiększania się. Proces powiększania się oczodołów kończy się w wieku 8 lat. W rezultacie bocznej ekspansji jamy nosowej, zatok i kości jarzmowych, zmieniają się znacznie proporcje twarzy, gdyż okolica kości jarzmowych staje się szersza od okolicy oczodołowej, jak również od mózgowcaszki (11, 13).

Zgodnie z badaniami Scotta (13) wzrost środkowego piętra twarzy można podzielić na dwie wyraźne fazy: (1) – od narodzin do 7 roku życia i (2) – po 7 roku życia. Podczas pierwszych 7 lat życia powiększanie się mózgu wywołuje wydłużenie się przedniej długości podstawy czaszki, wzrost oczu powiększa przestrzeń oczodołów, zaś chrząstki nosa popychają szczękę do przodu i do dołu. Inne mechanizmy wzrostowe: chrząstkozrost klinowo-potyliczny i chrząstka wyrostka kłykiowego chociaż aktywne poprzez apozycje powierzchniową, nie mają istotnego wpływu na wzrost środkowego piętra twarzy w tym okresie.

Po 7 roku życia mózg i oczy są ostatecznie ukształtowane, prawdziwa przednia podstawa czaszki kończy wzrost, a oczodoły stabilizują się. Scott sugeruje (13), że chrząstki nosa kończą wzrost w tym czasie i to spowolnienie wzrostowych mechanizmów zatrzymuje aktywność w szwach. Wy-

miar $S-N$ wzrasta powyżej wieku 7 lat, a kąt SNA określający pozycję szczęki pozostaje stały w każdym indywidualnym przypadku. To znaczy, że szczęka rosnąc do przodu pozostaje w tym samym stosunku do prawdziwej przedniej podstawy czaszki, dając w rezultacie stałość kąta SNA (13, 14). Można zatem stwierdzić, że siły przemieszczające szczękę do przodu również wywołują aktywność wzrostową w szwach twarzy. Dwie dodatkowe informacje zaprzeczają postulatowi Scotta. I tak, Enlow (4, 5) wykazał, że doprzedni dryft nie może tłumaczyć przemieszczenia szczęki, zaś Bjork i Skiller (1, 2, 3) potwierdzili aktywność wzrostową w szwach, za pomocą metalowych implantów. Autorzy ci nie zgadzają się ze Scotem, że wzrost wymiaru środkowego piętra twarzy po 7 roku życia jest rezultatem głównie powierzchniowej resorpcji i wewnętrznej nadbudowy.

Wzrost i rozwój żuchwy

W przeciwieństwie do szczęki, która jest całkowicie połączona z podstawą czaszki, żuchwa zawieszona jest za pomocą mięśni, skóry i tkanek łączących. Żuchwa jest bezpośrednio związana z głową poprzez staw skroniowo-żuchwowy i poprzez swoje zęby wchodzące w kontakt z zębami szczęki. Wbrew oczywistej niezależności żuchwy, u większości osobników, ta kompleksowa kość tworzy harmonijny stosunek ze szczęką. Zrozumienie, jak ten wzajemny stosunek powstaje jest największym wyzwaniem dla badaczy wzrostu i rozwoju twarzoczaszki.

Rozwój embrionalny żuchwy jest unikalny i godny dyskusji z racji klinicznych implikacji. Podobnie jak szczęka, żuchwa rozwija się z pierwszego łuku skrzelowego. Chociaż szczęka nie ma swojego prekursora chrzęstnego, to każda połowa żuchwy rozwija się skroniowo w stosunku do czasowej struktury zwanej *chrząstką Meckela*

(4, 14). W 6 tygodniu rozwoju pierwotna żuchwa jest podparta przez dwie twarde chrzęstne struktury rozciągające się od miejsca gdzie w przyszłości powstanie ucho do linii pośrodkowej gdzie łączą się w wyrostek żuchwowy. W 7 tygodniu rozpoczyna się międzybłoniaste formowanie się żuchwy. W przeciwieństwie do większości chrzęstno-kostnej konwersji, chrząstka Meckela, jest tylko mechanizmem wspierającym i nie staje się kością żuchwy w trakcie odchrzęstnej osyfikacji. Poza pozostałością jako kawałek i młoteczek chrząstka Meckela ulega całkowitej resorpcji. Trzon i gałąź żuchwy powstaje na skutek międzybłoniastej osyfikacji, zaś oba wyrostki kłyckiowy i dziobiasty powstają z prekursora chrzęstnego. Ponieważ chrząstka ta powstaje później niż pierwsza chondrocranialna chrząstka, jest więc określana jako chrząstka wtórna. Z chrząstki tej powstaje wyrostek kłyckiowy, jak również komponenty spojeniowe.

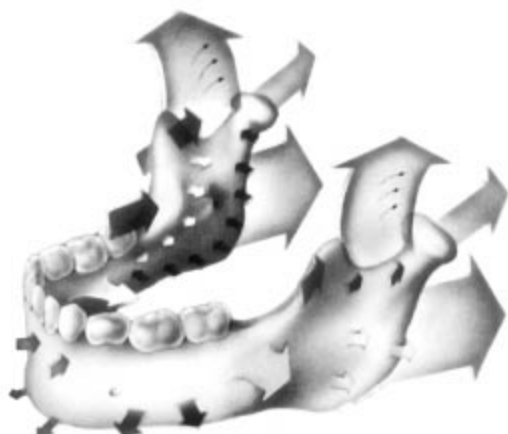
Chrząstka kłyckiowa wygląda jak stózek i w 12 tygodniu rozwoju przybiera pozycję przyszłego wyrostka kłyckiowego, a w 20 tygodniu ten kawałek chrząstki zamienia się w kość, oprócz cienkiej warstwy na powierzchni stawowej. Chrząstka, która służy jako prekursor wyrostka dziobiastego pojawia się około 4 miesiąca rozwoju i zamienia się w kość przed urodzeniem. Chrząstki spojenia powstające z przyśrodkowej części chrząstki Meckela są mniej przejściowe, obserwowane są podczas pierwszych lat życia. Chrząstki spojenia prawdopodobnie pomagają w poprzecznym wzroście w linii pośrodkowej, a ich aktywność tworzy odpowiedni obwód łuku zębodołowego dla mlecznych siekaczy.

Wielu autorów (4, 8, 9, 14) dzieli żuchwę na kilka rozwojowych i funkcjonalnych części: trzon żuchwy, wyrostek zębodołowy, kąt żuchwy, wyrostki dziobiaste i wyrostki kłyckiowe. Trzon żuchwy jest związany z ochroną nerwu zębodołowego i stanowi podstawę dla innych elementów.

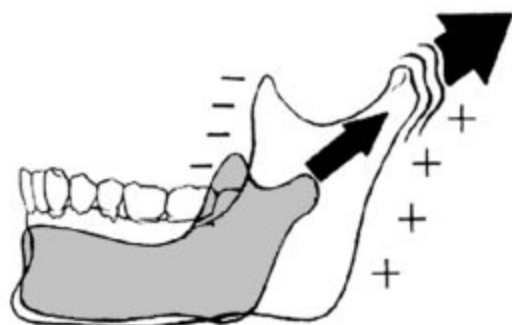
Obecność wyrostka zębodołowego jest całkowicie zależna od zębów, a wyrostek dziobiasty i kąt żuchwy jest pod dużym wpływem przyczepów mięśni i ich aktywności. Wyrostek kłyckiowy jest unikalną strukturą, bo choć nie przyczynia się znacząco do wielkości żuchwy, to istotnie wpływa na jej kształt i kierunek wzrostu.

W momencie narodzin rozwarty kształt żuchwy i niewielki rozmiar wyrostka kłyckiowego jest optymalny dla funkcji ssania. Wraz z wyrzynaniem się zębów gałąź żuchwy staje się bardziej prosta, a kąt żuchwy staje się bardziej ostry. Początkowa płaszczyna okluzji przechodzi przez główkę wyrostka kłyckiowego; wraz z pojawieniem się pierwszych zębów płaszczyna okluzji znacznie obniża się. Jak wykazują boczne teleroentgenogramy zmiany kształtu żuchwy zachodzą aż do wieku dojrzałego. Tylne krawędź gałęzi staje się coraz bardziej pionowa, zaś dolna krawędź trzonu żuchwy staje się bardziej pozioma. W rezultacie kąt żuchwy zmniejsza się wraz ze wzrostem. Zmiany kształtu żuchwy są rezultatem wzrostu poprzedniego i dodolnego (2, 4, 6, 7).

Żuchwa jest przykładem wzrostu odtylnego i doprzedniego przemieszczenia (ryc. 8). Po utworzeniu łuku w macicy, doprzedni przyrost długości łuku występuje w kilka miesięcy po urodzeniu, w szwie spojenia, zaś później, po wyrżnięciu się pierwszych zębów, jako wynik depozycji na wyrostku zębodołowym. Większość wzrostu, który jest obserwowany z przodu, faktycznie zachodzi z tyłu (2, 4, 14) (ryc. 9). Oznacza to, że przednia krawędź gałęzi jest stale resorbowana aby wytworzyć miejsce dla nowych trzonowców. Na tylnej krawędzi żuchwy występuje depozycja dla utrzymania szerokości gałęzi żuchwy. Ponieważ odkładanie się kości przewyższa proces jej resorpcji dochodzi do powiększania się gałęzi, co daje w rezultacie wzrost wymiarów żuchwy.



Ryc. 8. Sumaryczny diagram przedstawiający wzrost żuchwy. Kierunek wzrostu zależny od resorpcji przedstawiony jako strzałka skierowana w kierunku kości, kierunek wzrostu zależny od nadbudowy kości przedstawiony jako strzałka skierowana na zewnątrz kości. Grubość strzałek odpowiada intensywności wzrostu w poszczególnych regionach

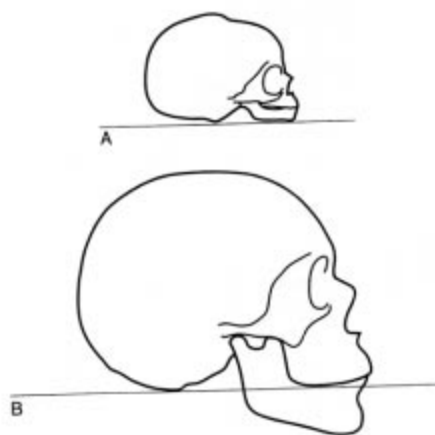


Ryc. 9. Wzrost żuchwy. Gałąź żuchwy przemieszcza się w czasie wzrostu cały czas do tyłu na skutek kombinacji procesu resorpcji (-) i nadbudowy (+). Gałąź żuchwy przemieszczając się cały czas do tyłu powoduje wydłużenie trzonu żuchwy

Tempo doprzedniego wzrostu żuchwy wyprzedza doprzedni wzrost szczęki u większości ludzi, tak że istniejąca w dzieciństwie retrognacja w dużej części jest zredukowana. Chociaż różnica w kacie ANB pomiędzy szczęką i żuchwą wynosi w momencie urodzenia 15%, to w wieku dorosłym średni deficyt żuchwy zmniejsza się do 2%.

Pionowy wzrost żuchwy jest znaczny, gdyż musi ona dostosowywać się do obni-

żającej się szczęki, oraz także utrzymywać pionowy wymiar okluzji, który wydaje się niezmienny. Podczas wzrostu, w czaszce noworodka płaszczyzna okluzji przechodzi powyżej wyrostka sutkowatego kości skroniowej, zaś płaszczyzna okluzji żuchwy układa się równoległe do niego. U dorosłych płaszczyzna okluzji szczęki zniża się do poziomu wyrostka sutkowatego, podczas gdy płaszczyzna okluzji żuchwy przechodzi wyraźnie poniżej niego (ryc. 10).



Ryc. 10. Pionowy wzrost żuchwy w stosunku do wyrostka sutkowatego kości skroniowej w okresie noworodkowym (A) i w wieku dorosłym (B)

Poprzeczny wzrost żuchwy jest uzyskiwany głównie przez dywergencję pomiędzy wyrostkami kłykciowymi, jak też poprzez odtłny wzrost (ryc. 11). Dostosowywanie się wyrostków kłykciowych do poszerzających się dołów skroniowo-żuchwowych stanowi wynik zdolności adaptacyjnej czapeczki włóknisto-chrzęstnej do nacisków i sił funkcjonalnych. Dodatkowa rolę przy poszerzaniu się żuchwy odgrywa odkładanie się kości na trzonie i gałęzi. Kiedy żuchwa poszerza się, dzięki wydłużaniu odtłnemu, zęby pozostają w stałym stosunku do linii pośrodkowej i nie zmieniają pozycji w żuchwie.

Bjork i Skiller wykazali (1, 2), za pomocą metalowych markerów i seryjnych cefalogramów, że wyrostek kłykciowy rośnie



Ryc. 11. Żuchwa noworodka (na górze), 4-letniego dziecka (w środku) i dorosłego (na dole) pokazuje stałą szerokość przedniej części trzonu w przeciwieństwie do bocznej ekspansji gałęzi żuchwy w czasie wzrostu

w różnych kierunkach. Kiedy wyrostek kłykciowy rośnie głównie do tyłu to żuchwa jest popychana do przodu, a odległość od wyrostka kłykciowego do bródki wyraźnie powiększa się i w tych przypadkach kąt żuchwy pozostaje bardziej rozwarty. Kiedy wyrostek kłykciowy rośnie do przodu lub do góry to żuchwa rośnie z centrum rotacji w okolicy siekaczy. Rezultatem jest ostry kąt żuchwy i krótka efektywna długość żuchwy pomiędzy główką wyrostka kłykciowego a bródką.

W przypadkach nadmiernego tylnego pionowego wzrostu żuchwy, większego niż potrzebne to jest dla zrównoważenia wzrostu dolnej wysokości twarzy, dochodzi do bardziej pionowego ustawienia płaszczyzny okluzyjnej żuchwy. W tych przypadkach selektywna resorpcja dolnej krawędzi gałęzi żuchwy maskuje występowanie nadmiernego tylnego pionowego wzrostu żuchwy. U pacjentów z rotacyjnym wzorcem wzrostowym, matryca funkcjonalna otaczająca żuchwę działa hamująco na zmiany kształtu kości rotującej się wewnątrz niej (9, 10). Innym mechanizmem kompensacyjnym jest wzmocnienie

dryftu tylnych zębów żuchwy koniecznego do utrzymania płaszczyzny okluzji. U tych pacjentów, skutkiem zwiększonego dryftu tylnych zębów żuchwy, obserwuje się częstsze występowanie zębów zatrzymanych, w porównaniu z innymi pacjentami.

Wewnątrzmatrycowa rotacja żuchwy stanowi jeden z rodzajów rotacyjnego wzrostu żuchwy. Drugi typ rotacji wzrostowej dokonuje się wokół osi rotacji przechodzącej przez główkę wyrostka kłykciowego żuchwy (9, 10, 14). Podczas wzrostu kręgosłupa szyjnego głowa unosi się, a to zmusza mięśnie szyi, przyczepione do żuchwy, do jednoczesnego synchronicznego wydłużania. Jeśli do tego nie dochodzi to mamy do czynienia z rotacją żuchwy otwierającą usta. Występujący równoległe do wzrostu kręgosłupa szyjnego pionowy wzrost gałęzi żuchwy zapobiega wystąpieniu nadmiernej siły rotującej żuchwę w kierunku dolnym, i w konsekwencji – do otwierania ust.

Wymienione dwa typy rotacji wzrostowej działają synergistycznie lub antagonistycznie w kształtowaniu żuchwy. W przypadku silnie działającego wewnątrzmatrycowego wzrostu płaszczyzna dolnej krawędzi żuchwy staje się bardziej pozioma. Wzrost ten może być później niwelowany przez osiową rotację wokół główki wyrostka kłykciowego, która otwiera zgryz i pociąga żuchwę ku tyłowi. Tak więc ostateczny kształt żuchwy jest wynikiem tych czasami konkurujących ze sobą wpływów.

Właściwości wyrostka kłykciowego były obiektem wielu badań i klinicznych obserwacji (1, 2, 4, 11, 14). Szczególnym zainteresowaniem cieszyły się badania wzrostu wyrostka kłykciowego. Wyrostek kłykciowy klasyfikowany był przez jednych jako centrum wzrostowe, zaś przez przeciwników tej teorii jako miejsce wzrostowe. Miejsce wzrostowe jest definiowane jako anatomiczny obszar niezdolny do samodzielnego wzrostu tkanki wywołanego przez wewnętrzną siłę separującą, jednak zdolny do

tworzenia się nowej tkanki w odpowiedzi na działające siły zewnętrzne. Typowym przykładem miejsca wzrostowego jest szew, gdzie nowa kość jest odkładana tylko w przypadku gdy przylegające do siebie kości są rozciągane przez siły zewnętrzne. Centrum wzrostowym jest tkanka chrzęstna, która może rozszerzać się z siłą odpowiednią do rozdzielenia się otaczających tkanek. Centrum wzrostowe ma zatem swój niezależny wzrost. Typowym przykładem centrum wzrostowego jest płytką wzrostową kości długich.

Dwa inne regiony chrzęstne w czaszce – chrząstkozrost klinowo-potyliczny i chrząstki nosa, są często klasyfikowane jako centra wzrostowe.

W świetle powyższego, nie można uważać wyrostków kłykciowych za prawdziwe centra wzrostowe. Można by sugerować, że wyrostki kłykciowe wykazują dokładnie przeciwne właściwości.

Można dowodzić, że wyrostki kłykciowe wykazują się zdolnością adaptacyjną do dołu stawowego podczas wzrostu i mogą także kompensować przednio-tylną dyskrepancję przez skrócenie lub wydłużenie efektywnej długości żuchwy na skutek zmiany kierunku wzrostu (4, 14). Chociaż próbowano wywołać wzrost wyrostka kłykciowego za pomocą leczenia aparatem funkcjonalnym II klasy zgryzowej, to nie zaobserwowano jednak w tych przypadkach istotnej promocji wzrostowej wyrostka (6, 8). Badania doświadczalne na zwierzętach dowiodły (14), że chociaż symulacja mechaniczna lub chirurgiczna doprowadza do zmian położenia wyrostka kłykciowego w obrębie stawu skroniowo-żuchwowego, to jednak zmiany możliwe są w ograniczonym zakresie. Wskazuje to na ewentualną możliwość leczenia ludzkiej microgeni za pomocą aparatu funkcjonalnego, ale jak do tego klucz do uwolnienia potencjału wzros-

towego wyrostka kłykciowego pozostaje dalej nieznanymi.

Piśmiennictwo

1. Bjork A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: Method and application. *Am J Phys Antropol.*, 1968, 29, 243 – 252.
2. Bjork A., Skieller V. Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. *Eur J Orthod.*, 1983, 5: 1 – 14.
3. Bjork A., Skieller V. Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. *Br. J Orthod* 1977, 4: 53 – 56.
4. Enlow D.H., Hans M.G. *Essentials of facial growth.* Philadelphia W.B. Saunders 1996.
5. Enlow D.H., Band S. Growth and development of the human maxilla. *Am J Orthod* 1965, 51, 446 – 454.
6. Hans M.G., Enlow D.H. Age related differences in mandibular ramus growth. *Angle Orthod* 1995, 65: 335 – 338.
7. Isaacson R. Zapfel R., Worms F. Effect of rotational jaw growth on the occlusion and profile. *Am J Orthod* 1977, 72: 276 – 282.
8. Mathews J., Ware W. Longitudinal mandibular growth in children with tantalum implants. *Am J Orthod* 1978, 74: 633 – 636.
9. Mew J. Factors influencing mandibular growth. *Angle Orthod* 1986, 56: 31 – 36.
10. Moss M. The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J Orthod* 1969, 55: 566 – 571.
11. Moyers R., Bookstein F., Guire K. The concept of pattern in craniofacial growth. *Am J Orthod* 1979, 76: 136 – 140.
12. Precious D., Delaire J. Balanced facial growth: a schematic interpretation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1987, 63: 637 – 642.
13. Scott J.H. The growth of the human face. *Proc R Soc Med* 1957, 47: 91 – 98.
14. Spreber G.H. *Craniofacial development.* London BC Decker Inc 2001.

Adres do korespondencji / Address for correspondence: Mirosław Kulewicz, Klinika Chirurgii Dzieci i Młodzieży, ul. Kasprzaka 17 A, 01 – 211 Warszawa