

Uniwersytet Medyczny w Łodzi  
Oddział Stomatologii Wydziału Lekarskiego

Lek. dent. Adrian Strzecki

JAKOŚCIOWA I ILOŚCIOWA OCENA ZĘBOWYCH,  
WYROSTKOWYCH ORAZ SZKIELETOWYCH  
EFEKTÓW SZYBKIEJ EKSPANSJI SZCZĘKI  
U SZCZURÓW - ANALIZA *CBCT* ORAZ *MICRO-CT*

**Praca doktorska**

Promotor pracy: dr hab. n.med. prof. nadzw. Elżbieta Pawłowska  
Zakład Ortodontyki Katedry Stomatologii Wieku Rozwojowego  
Kierownik Katedry: Prof. dr hab. n.med. Joanna Szczepańska

**Łódź, 2017**

## **STRESZCZENIE/SUMMARY**

### **Wstęp:**

Szybka Ekspansja Szczęki/Podniebienia (ang. Rapid Maxillary Expansion – RME; Rapid Palatal Expansion – RPE, terminy używane zamiennie) jest ortodontyczną metodą korygowania szkieletowych zwężeń szczęki oraz niedoborów miejsca w górnym łuku zębowym, choć wskazania do jej zastosowania stale się poszerzają. Efekt terapeutyczny, polegający na poprzecznej rozbudowie górnego łuku zębowego w wyniku otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego, uzyskiwany jest poprzez przyłożenie sił o znacznej wartości do zębów bocznych szczęki i pośrednio do tkanek podniebienia twardego; najlepszych wyników takiego postępowania można spodziewać się u pacjentów młodocianych, przed pokwitaniowym skokiem wzrostowym, gdzie zaobserwować można znaczny efekt rozbudowy bazy apikalnej przy ograniczonym wychyleniu zębów. W miejscu otwarcia szwu po kilku miesiącach leczenia retencyjnego dochodzi do powstania nowej kości, która stabilizuje uzyskany efekt ekspansyjny. Niezwykle istotną cechą opisywanej metody jest wpływ na podstawy szkieletowe, dzięki któremu możliwa jest korekcja wady na innym poziomie niż zębowo - wyrostkowy. Przyłożone do górnych zębów bocznych siły terapeutyczne powodują stopniowe poszerzenie przestrzeni w pośrodkowym szwie podniebiennym, prowadzące do jego otwarcia, przy jednoczesnym ugięciu wyrostków zębodołowych, ucisku na więzadła ozębnej i dopoliczkowym wychyleniu zębów. Co więcej, wpływ na kości szczęki, powodujący ich wzajemne rozsuniecie się w zakresie pośrodkowego szwu podniebiennego skutkuje przeniesieniem sił na inne struktury twarzoczaszki. W takim ujęciu należałoby raczej mówić o efekcie ortopedycznym niż ortodontycznym, a szczegółowe opisanie efektów tej metody leczniczej wymaga daleko bardziej zaawansowanej analizy niż w przypadku konwencjonalnej terapii ortodontycznej.

### **Cele:**

Cel główny pracy:

Ilościowa analiza zmian morfologicznych zachodzących w obrębie twarzoczaszki szczura podczas eksperymentalnej terapii szybkiej ekspansji szczęki, z uwzględnieniem oceny zasięgu działania sił ekspansyjnych w zakresie struktur niezwiązanych topograficznie z miejscem ich przyłożenia oraz opisu sekwencji zdarzeń biomechanicznych zachodzących przed

i po otwarciu pośrodkowego szwu podniebiennego - przeprowadzona w oparciu o skan Mikro-CT oraz CBCT.

Problem badawczy został zrealizowany w oparciu następujące cele szczegółowe:

1. Ilościowa ocena zmian na poziomie zębowym, wyrostkowym oraz szkieletowym, zachodzących podczas terapii szybkiej ekspansji szczęki u szczura.
2. Wykazanie i określenie charakteru ruchu ortodontycznego I zębów trzonowych żuchwy zachodzących podczas terapii szybkiej ekspansji szczęki u szczura.
3. Ilościowa analiza zmian zachodzących w obrębie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego podczas terapii szybkiej ekspansji szczęki u szczura.
4. Ilościowa analiza zmian zachodzących w obrębie szczękowych oraz okołoszczękowych szwów czaszkowych podczas terapii szybkiej ekspansji szczęki u szczura.
5. Analiza cefalometryczna trójwymiarowego modelu czaszki szczura.

#### **Materiał i metoda:**

Eksperymentalną terapię Szybkiej Ekspansji Szczęki przeprowadzono na 8-tygodniowych samcach szczurów rasy Wistar. Masa szczurów wahała się w zakresie 240 – 250 gram. Wiek 8 tygodni został wybrany w celu jak najpełniejszego odwzorowania warunków przeprowadzania terapii ekspansyjnej u pacjentów w wieku rozwojowym; niemniej szczury w tym wieku mają za sobą etap najbardziej intensywnego wzrostu. Ze względu na relatywnie krótki czas trwania eksperymentu można było wykluczyć istotny modyfikujący wpływ wzrostu organizmu szczurów na otrzymywane wyniki. Szczury zostały podzielone na grupę badaną liczącą 30 samców oraz kontrolną liczącą 10 osobników. W obrębie grupy badanej wyodrębniono 3 podgrupy liczące po 10 zwierząt. Każda z podgrup zawierała zwierzęta podlegające eksperymentalnej RME przez 7 (Grupa I), 14 (Grupa II) lub 21 dni (Grupa III). Po 7 dniach aktywnej terapii uśmiercenię poprzez dootrzewnową iniekcję Pentobarbitalu sodu w dawce 200mg/kg m.c. poddawano osobniki z Grupy I. Analogicznie postępowano w przypadku Grup II i III, po odpowiednio po 14 i 21 dniach. Szczury z grupy kontrolnej były uśmiercane po 21 dniach od rozpoczęcia eksperymentu. Symulację terapii Szybkiej Ekspansji Szczęki przeprowadzono przy pomocy aparatu własnego projektu. Ewaluacji zmian zębowych, wyrostkowych oraz szkieletowych dokonywano w programie Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) na projekcjach czołowych wyeksportowanych w formacie .jpeg. ze skanów MicroCT. W celu otrzymania powtarzalnych projekcji, stos plików dicom opisujących daną próbkę otwierano w programie Mango ver 4.0 (Research Image Institute), a

następnie orientowano dane wolumetryczne w odniesieniu do 3 płaszczyzn referencyjnych. Pomiarów szerokości szwów dokonywano w programie Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) na projekcjach czołowych, strzałkowych oraz czołowych wyeksportowanych w formacie .jpeg. ze skanów MicroCT. W celu otrzymania powtarzalnych projekcji, stos plików dicom opisujących daną próbkę otwierano w programie Mango ver 4.0 (Research Image Institute). Analizie poddano: szew międzyprzysieczny, szew przysieczno-szczękowy, pośrodkowy szew podniebienny, poprzeczny szew podniebienny, szew jarzmowo-szczękowy, szew nosowo-czołowy, szew międzynosowy, szew nosowo-przysieczny. Oceny szerokości chrząstkozrostu klinowo-potylicznego dokonywano w programie Adobe Photoshop CS5 (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) na projekcjach strzałkowych wyeksportowanych w formacie .jpeg. ze skanów MicroCT. W celu otrzymania powtarzalnych projekcji, stos plików dicom opisujących daną próbkę otwierano w programie Mango ver 4.0 (Research Image Institute), a następnie orientowano dane wolumetryczne w odniesieniu do 3 płaszczyzn referencyjnych. Analiza cefalometryczna modelu 3D w odróżnieniu od konwencjonalnej analizy dwuwymiarowych rentgenogramów umożliwiła ocenę zmian szkieletowych względem wszystkich płaszczyzn topograficznych jednocześnie. Badaniu poddano wszystkie szczury z grupy badanej oraz kontrolnej. Skan CBCT otwierano w programie Ez3D Plus (Vatech Global, Seul, Korea Południowa), a następnie w oknie przedstawiającym model 3D dokonywano segmentacji danych tak aby uzyskać wizualizację jedynie twardych tkanek czaszki szczura. Dodatkowo w celu identyfikacji punktów znajdujących się w linii pośrodkowej, model 3D szczura był przecinany wzdłuż linii pośrodkowej.

### **Wyniki:**

Na podstawie uzyskanych wyników i pomiarów mających na celu realizację celów badawczych można stwierdzić, iż zastosowana metoda eksperymentalna charakteryzowała się znaczącym podobieństwem biomechanicznym do terapii RME u człowieka. Najistotniejsze wyniki uzyskane podczas badań zostały przedstawione w postaci poniższej listy:

1. Podczas fazy aktywnej terapii uzyskano otwarcie pośrodkowego szwu podniebiennego u szczura; do największej ekspansji szwu dochodziło między 15., a 21. dniem aktywnej terapii.
2. Dla punktu topograficznego w okolicy I zębów trzonowych (M1) szczęki szerokość szwu po 3 tygodniach terapii stanowiła 255,4 % szerokości szczeliny szwu w grupie kontrolnej, co można wyrazić również jako średni wzrost szerokości szwu o 217,5  $\mu\text{m}$ .

3. Dla punktu topograficznego w okolicy III zębów trzonowych szczęki (M3) szerokość szczeliny szwu podniebiennego zarówno w grupie kontrolnej jak i B3 była mniejsza w porównaniu do analogicznych odległości w okolicy M1. Odnotowany średni wzrost szerokości szwu wynosił 163,1  $\mu\text{m}$ .
4. Uzyskane otwarcie pośrodkowego szwu podniebiennego było większe w okolicy I niż III zębów trzonowych szczęki (217,5  $\mu\text{m}$  vs 163,1  $\mu\text{m}$ ) – można zatem kształt otwarcia określić jako nierównoległy.
5. Wzrost szerokości szczęki na poziomie szczytu wyrostka wynosił 497,2  $\mu\text{m}$  dla I zębów trzonowych oraz 439,7  $\mu\text{m}$  dla III zębów trzonowych.
6. Wzrost szerokości szczęki na poziomie wierzchołków korzeni zębów trzonowych górnych wynosi 338,4  $\mu\text{m}$  dla I zębów trzonowych oraz 580,8  $\mu\text{m}$  dla III zębów trzonowych.
7. Wzrost szerokości szczęki na poziomie jej podstawy wynosił 504,1  $\mu\text{m}$  dla I zębów trzonowych oraz 507,4  $\mu\text{m}$  dla III zębów trzonowych.
8. Nie zaobserwowano istotnego statystycznie dopoliczkowego ugięcia wyrostka zębodołowego lub jego dopoliczkowej rotacji w okolicy I zębów trzonowych szczęki podczas fazy aktywnej terapii.
9. Wykazano istotną statystycznie zmianę dopoliczkowej angulacji I zębów trzonowych szczęki o wartości  $+6,7^\circ/+6,1^\circ$  już po 7 dniach ekspansji. Parametr ten nie ulegał istotnej zmianie podczas dalszych etapów fazy aktywnej.
10. Działanie sił ortopedycznych powodowało, oprócz wychylenia, również dopoliczkową translację I zębów trzonowych po 21 dniach terapii. Niemniej, przeważająca część poszerzenia łuku zębowego wynikała z ekspansji szkieletowej
11. Wykazano dodatnią korelację pomiędzy szerokością szczeliny pośrodkowego szwu podniebiennego w okolicy M1 oraz M3.
12. W okolicy III zębów trzonowych parametry opisujące poprzeczne wymiary szczęki nie rosły w sposób istotny statystycznie, aż do momentu otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego. Omawiane zmiany następowały po 14. dniu aktywnej terapii.
13. W okolicy III zębów trzonowych zaobserwowano dwuetapowy istotny statystycznie wzrost dopoliczkowej inklinacji wyrostków zębodołowych – do 7. dnia ekspansji oraz między 15., a 21 dniem terapii. Pierwszy etap mógł wynikać z ich ugięcia, przemijającego między 14., 21. dniem terapii, drugi etap może być związany dopoliczkową rotacją rozseparowanych kości szczękowych.
14. Wykazano istotną statystycznie zmianę dopoliczkowej angulacji III zębów trzonowych szczęki o  $+12^\circ$  już po 7 dniach ekspansji. Wzrost omawianej wartości był wyższy niż w

przypadku I zębów trzonowych szczęki. Parametr ten ulegał dalszej istotnej zmianie między 15., a 21 dniem, prawdopodobnie w wyniku rotacji wyrostków zębodołowych wraz zębami.

15. Odsetek ekspansji szkieletowej w odniesieniu do całkowitej ekspansji poprzecznej górnego łuku zębowego wynosił 50,8% dla I zębów trzonowych oraz 58% dla III zębów trzonowych.

16. III zęby trzonowe w trakcie terapii ekspansyjnej ulegały głównie wychyleniu, podczas gdy I zęby trzonowe ulegały również dopoliczkowej translacji.

17. Wykazano niewielką ekstruzję I i III zębów trzonowych szczęki po 21 dniach terapii.

18. Wykazano dodatnią korelację pomiędzy szerokością pośrodkowego szwu podniebiennego, a wychyleniem I dolnych zębów trzonowych po zakończeniu fazy aktywnej.

19. Nie wykazano istotnego statystycznie wzrostu odległości pomiędzy wierzchołkami korzeni mezialnych I zębów trzonowych żuchwy. Brak również korelacji między wzrostem parametru a poszerzeniem górnego łuku w trakcie fazy aktywnej.

20. W grupie B3 można wskazać na obecność korelacji pomiędzy ekspansją w szwie, a szerokością dolnego łuku zębowego mierzonych na poziomie I dolnych zębów trzonowych.

21. Można wskazać następującą sekwencję zdarzeń towarzyszących RME obserwowanych na poziomie I zębów trzonowych szczęki szczura:

1-7 dzień terapii: znaczna ekspansja łuku, znaczne wychylenie zębów, pomijalna dopoliczkowa rotacja wyrostków, brak ekspansji szkieletowej

8-14 dzień terapii: brak dalszej znaczącej ekspansji łuku, wychylenie zębów pozostaje na poziomie z poprzedniego etapu leczenia, pomijalna dopoliczkowa rotacja wyrostków, brak ekspansji szkieletowej (brak widocznych oznak zmian zębowo-wyrostkowych oraz szkieletowych przy ciągłym działaniu ekspandera sugeruje rosnącą wartość kostnych naprężeń).

15-21 dzień terapii: znaczna ekspansja łuku, możliwe niewielkie dopoliczkowe przemieszczenie zębów w obrębie wyrostków zębodołowych oraz ekstruzja, wychylenie zębów pozostaje na poziomie z poprzedniego etapu leczenia, pomijalna rotacja wyrostków, znaczna ekspansja szkieletowa.

22. W świetle powyższych rozważań można wskazać na następującą sekwencję zdarzeń zachodzących podczas eksperymentalnej RME u szczura na poziomie III zębów trzonowych szczęki:

1-7 dzień: dopoliczkowe wychylenie zębów, dopoliczkowa rotacja wyrostków zębodołowych, ograniczona ekspansja w pośrodkowym szwie podniebiennym, ograniczona ekspansja szkieletowa

8-14 dzień: niewielkie zmiany ustawienia zębów trzonowych i wyrostków zębodołowych (zmniejszenie dopoliczkowego wychylenia wyrostków nieistotne statystycznie), ograniczona ekspansja w pośrodkowym szwie podniebiennym, ograniczona ekspansja szkieletowa

15-21 dzień: znaczna ekspansja w pośrodkowym szwie podniebiennym, dalsza dopoliczkowa rotacja kości szczękowych wraz zębami, możliwa ekstruzja III zębów trzonowych.

23. Wykazano wpływ eksperymentalnej terapii RME u szczura na morfologię chrząstkozrostu klinowo-potylicznego (SOS).

24. Największe poszerzenie dolnej części szczeliny SOS (+165,5  $\mu\text{m}$ ) zachodziło przed otwarciem pośrodkowego szwu podniebiennego, co wiązało się z akumulacją znacznych śródkostnych naprężeń.

25. Górna część szczeliny SOS nie wykazywała poszerzenia na żadnym etapie terapii ekspansyjnej. Co więcej, między 8., a 14. dniem fazy aktywnej dochodziło do istotnego statystycznie zmniejszenia jej szerokości w tej lokalizacji o 40  $\mu\text{m}$ .

26. Zastosowana metodologia oparta na skanie Micro-CT jest metodą o wystarczającej dokładności do analizy morfologii szwów czaszkowych oraz chrząstkozrostu klinowo-potylicznego.

27. Odnotowano istotny statystycznie wpływ na wszystkie oceniane szwy szczęki i okołoszczękowe: szew międzyprzysieczny, szew przysieczno-szczękowy, pośrodkowy szew podniebienny, poprzeczny szew podniebienny, szew jarzmowo-szczękowy, szew nosowoczołowy, szew międzynosowy, szew nosowo-przysieczny.

28. Zaobserwowano istotne statystycznie zmniejszenie szerokości szwu jarzmowo-szczękowego po 14 dniach ekspansji wynoszące 63,5  $\mu\text{m}$ .

29. Szew międzyprzysieczny ulegał istotnemu statystycznie poszerzeniu już po 7 dniach fazy aktywnej. Dalszy wzrost szerokości szwu następował w tempie 30-40  $\mu\text{m}$ /tydzień skutkując całkowitą ekspansją o 98,8  $\mu\text{m}$ .

30. Poprzeczny szew podniebienny ulegał istotnemu statystycznie poszerzeniu między 15., a 21. dniem fazy aktywnej; na tym samym etapie dochodziło do otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego.

31. Szew międzynosowy ulegał istotnemu statystycznie zwężeniu przez pierwsze 14 dni terapii, a po 21 dniach odnotowano jego istotne statystycznie poszerzenie. Naprężenia kostne wywoływane przez działanie sił ortopedycznych do momentu otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego mogły mieć charakter ściskający, a już po separacji kości szczęki – rozciągający.

32. Odnotowano istotne statystycznie, odwracalne poszerzenie szwu nosowo-czołowego (+37,2  $\mu\text{m}$ ) między 8., a 14. dniem fazy aktywnej, czyli tuż przed otwarciem pośrodkowego szwu podniebiennego.
33. Szew nosowo-przysieczny ulegał istotnemu statystycznie poszerzeniu o 61,1  $\mu\text{m}$  już po 7 dniach fazy aktywnej; nie odnotowano zmian w morfologii szwu podczas dalszych etapów terapii ekspansyjnej.
34. Szew szczękowo-przysieczny ulegał istotnemu statystycznie poszerzeniu o 71,1  $\mu\text{m}$  już po 7 dniach fazy aktywnej; nie odnotowano zmian w morfologii szwu podczas dalszych etapów terapii ekspansyjnej.
35. Kąt VNA, którego wzrost odzwierciedla zmiany związane doprzednim przemieszczeniem szczęki i kości przysiecznej zwiększał swoją wartość dwuetapowo w sposób statystycznie istotny po 7 dniach (+2,4°) oraz po 21 dniach terapii (+1,6 °; całkowity wzrost po 21 dniach o 4°)
36. Największe zmiany związane ze wzrostem kąta Jug-N-Jug, były obserwowane między 15, a 21 dniem terapii ekspansyjnej, co należy łączyć z otwarciem pośrodkowego szwu podniebiennego i dalej postępującej ekspansji szczęki.
37. Kąt SPJ –N –SPJ wykazywał istotny, przemijający wzrost o 1,9 ° między 8., a 14 dniem terapii.
38. Istotny wzrost wartości kąta PKP-N-PKP wystąpił po 14 i 21 dniach, a całkowita zmiana wyniosła +3,6°.
39. Kąt pomiędzy płaszczyzną pokrywy czaszki, a płaszczyzną podniebienia twardego (V-N: TPPT-A) rósł w sposób istotny statystycznie na wszystkich etapach ekspansji; całkowity wzrost wyniósł 1,26 °.

### **Wnioski:**

1. Pod wpływem działania sił ortopedycznych zastosowanego aparatu do szybkiej ekspansji szczęki u szczura obserwowano zróżnicowane zmiany zębowo-wyrostkowo-szkieletowe na poziomie I oraz III zębów trzonowych oraz nierównoległy kształt otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego w płaszczyźnie aksjalnej. Wskazuje to na różny poziom stawianego oporu przez struktury twarzoczaszki szczura dla terapeutycznych sił ekspansyjnych w zależności od miejsca ich przyłożenia.
2. Zachodząca po otwarciu pośrodkowego szwu podniebiennego dopoliczkowa rotacja wyrostków zębodołowych wraz z zębami wymaga odróżnienia od izolowanej dopoliczkowej rotacji zębów filarowych w wyniku działania aparatu do RME przed otwarciem szwu lub przy



braku otwarcia. To drugie zjawisko można uznać za źródło potencjalnych jatrogennych powikłań, które zachodzi przy jednoczesnym narastaniu śródkostnych naprężeń i braku obserwowanej ekspansji w szwie. Większość zębowych i periodontologicznych powikłań obserwowanych klinicznie podczas RME może być związana z niezrealizowanym celem ekspansji – brakiem otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego pomimo zastosowania pełnego protokołu aktywacji. Po otwarciu pośrodkowego szwu podniebiennego nie obserwowano dalszego, izolowanego wychylenia górnych zębów trzonowych.

3. Opracowana sekwencja zdarzeń biomechanicznych sugeruje, że ekspansja szkieletowa w każdym wypadku poprzedzona jest ekspansyjnym efektem zębowym (dopoliczkowa rotacja i/lub translacja) oraz wyrostkowym, którego charakter może mieć postać przemijającego ugięcia. Tym samym podczas planowania terapii RME w każdym przypadku należy brać pod uwagę dopoliczkowy ruch zębów względem podstaw kostnych, jakkolwiek zakres tego ruchu może mieć różną wartość w zależności od konstrukcji ekspandera.

4. Już po 7 dniach stwierdzono wpływ terapii RME na wzrost wychylenia dolnych I zębów trzonowych, nie skutkujący jednak istotnym statystycznie względem grupy kontrolnej zwiększeniem szerokości dolnego łuku zębowego w tej lokalizacji w tym obszarze po 21 dniach ekspansji. Nie można wykluczyć bardziej nasilonego wpływu poszerzonego górnego łuku zębowego na parametry dolnego łuku zębowego również w dłuższej perspektywie czasowej. Działo się tak pomimo pokrycia powierzchni zgryzowych górnych zębów trzonowych akrylem aparatu. Może to świadczyć, że również taka konstrukcja ekspandera pomimo braku bezpośredniego kontaktu pomiędzy powierzchniami okluzyjnymi górnych i dolnych zębów trzonowych może powodować adaptacyjne wychylenie dolnych zębów trzonowych.

5. Zasięg działania sił ortopedycznych przekraczał struktury twarzoczaszki szczura obejmując chrząstkozrost klinowo-potyliczny oraz szew nosowo-czołowy. Wpływ działania sił na wyżej wymienione truktury był największy przed otwarciem pośrodkowego szwu podniebiennego. Nie należy zatem utożsamiać wpływu sił ekspansyjnych podczas działania aparatu do RME na struktury twarzoczaszki jedynie z samym zjawiskiem twarcia szwu.

6. Etap terapii ekspansyjnej do momentu otwarcia pośrodkowego szwu podniebiennego, wiąże się z narastającym poziomem śródkostnych naprężeń przenoszonych na podstawę czaszki i objawiającymi się w postaci poszerzenia dolnej części szczeliny chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, co może mieć korzystny wpływ podczas korekcji wad klasy III związanych z przednio-tylnym niedoborem wielkości szczęki.

7. Zaobserwowano istotne statystycznie zmiany u morfologii szczękowych i okołoszczękowych szwów czaszkowych szczurów zarówno w okresie poprzedzającym jak i

następującym po otwarciu pośrodkowego szwu podniebiennego Szwy szczękowe (pośrodkowy, poprzeczny) oraz okołoszczękowe znajdujące się w linii pośrodkowej twarzoczaszki szczura (szew międzynosowy, szew międzyprzysieczny) ulegały ekspansji na tym samym etapie terapii. W zakresie pozostałych analizowanych szwów okołoszczękowych zmiany były obserwowane do 14. dnia RME. Sugeruje to istotną rolę szwów jako struktur kompensujących zewnętrznie działające siły ortopedyczne.

8. Analiza cefalometryczna trójwymiarowego modelu czaszki szczura podczas terapii RME wskazuje na zmianę morfologii struktur twarzoczaszki względem wszystkich płaszczyzn referencyjnych. Wskazuje to na złożony mechanizm kostnych przemieszczeń nieograniczający się jedynie do dobowego przemieszczenia rozseparowanych kości szczękowych. Zmiany szkieletowe inne niż poprzeczna rozbudowa szczęki powinny być brane pod uwagę podczas planowania RME, jako istotny czynnik wpływający na końcowy efekt terapii ortodontycznej.

## **Summary**

### **Introduction:**

Rapid Maxillary Expansion (or Rapid Palatal Expansion; synonymous terms) is an orthodontic treatment modality aimed at correction of maxillary constriction and dental crowding; nevertheless, the indications for this form of treatment are constantly expanding. Therapeutic effect i.e. a transverse maxillary arch expansion is a result of the median palatal suture opening. It can be clinically achieved by applying heavy forces to the upper posterior

teeth and tissues of the hard palate. Clinicians can expect the most pronounced treatment outcome in juvenile patients before the growing spurt. In such cases one can observe significant expansion of the maxillary skeletal base with only limited teeth buccal inclination. The expanded space within the median palatal suture is filled with a new bone after few months of retention, which stabilises the treatment effect. The most important feature of RME is the proven influence on the skeletal bases which enables the correction of the defects on a different level than dento-alveolar. Nevertheless, the applied orthopedic forces have an effect on not only the median palatal suture itself as the teeth, periodontium, alveolar processes and skeletal sutures are also affected. For this reason, the overall treatment effect of RME requires a profound analysis.

### **Aims:**

Main aim of the study:

The aim of this study is the quantitative analysis of morphological changes occurring within the rat facial skeleton during the experimental rapid maxillary expansion. The range of action of orthopedic forces and the sequence of biomechanic changes occurring before and after the median palatal suture opening will be described. Analysis will be performed on the basis of Micro-CT and CBCT scans.

Main study goal was realised on the basis of the following detailed aims:

1. Quantitative analysis of dental (movement of upper I and III molars), alveolar (alveolar bending/rotation) and skeletal (measurement of skeletal transverse dimensions) effects of experimental RME therapy in rats. Evaluation based on Microtomographic CT scans.
2. Quantitative analysis of dental movement of lower I molars during experimental RME therapy in rats. Evaluation based on Microtomographic CT scans.
3. Quantitative evaluation of the changes occurring within the sphenoid-occipital synchondrosis during an experimental RME in rats. Evaluation based on Microtomographic CT scans.
4. Quantitative evaluation of the changes occurring within the maxillary and circummaxillary sutures of rat facial skeleton. Evaluation based on Microtomographic CT scans.
5. 3-D cephalometric analysis of rat skull digital model. Evaluation performed on segmented CBCT scans.

## **Material and methods:**

The experimental Rapid Maxillary Expansion was performed on the 8-week old Wistar rats. Body weight of the animals enrolled into the study was approximately 240 – 250 g. The age of the animals was chosen due to the closest possible simulation of expansion therapy in juvenile patients. Due to the relatively short duration of the experiment, the changes in skull morphology resulting from the growth factors could be excluded. Rats were divided into two groups: study group consisting of 30 animals and control group consisting of 10 rats. Within the study population 3 sub-groups were differentiated, each consisting of 10 animals. The rats in the first sub-group were submitted to RME expansion for 7 days; in the second sub-group for 14 days and in the third for 21 days. After prescribed amount of time rats in each group were sacrificed by means of the intraperitoneal Sodium Pentobarbital injection of 200 mg per kg of body mass. Rats from the control group were killed with the rats from the third study sub-group, i.e. after 21 days. The experimental RME was performed with the use of the thick-wire appliance of the original design taking into account rat maxillary anatomy. Evaluation and measurement of the dental, alveolar and skeletal changes was performed with the Adobe Photoshop CS5 software suite (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) on the frontal projections exported in .jpeg file format from the MicroCT scans. In order to obtain repeatable projections, the .dicom image stack was opened in Mango v.4.0 software and aligned in accordance with reference planes. Evaluation and measurement of maxillary and circum-maxillary suture was performed with the Adobe Photoshop CS5 software suite (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) on the frontal, sagittal and axial projections exported in .jpeg file format from the MicroCT scans. In order to obtain repeatable projections, the dicom image stack was opened in Mango v.4.0 software and aligned in accordance with reference planes. The following cranial sutures underwent the evaluation process: interpremaxillary suture, premaxillaro-maxillary suture, median palatal suture, transverse palatal suture, zygomatico-maxillary suture, naso-frontal suture, internasal suture and naso-premaxillary suture. Evaluation and measurement of sphenoccipital synchondrosis was performed with the Adobe Photoshop CS5 software suite (Adobe Systems Inc., San Jose, CA) on the sagittal projections exported in .jpeg file format from the MicroCT scans. In order to obtain repeatable projections, the dicom image stack was opened in Mango v.4.0 software and aligned in accordance with reference planes. 3-Dimensional cephalometric analysis of rat skull digital model allowed for the simultaneous multi-planar assessment of the skeletal changes. All rats from the study and control group underwent cephalometric analysis. CBCT scan was opened in a native for the scanning device Ez3D Plus

software (Vatech Global, Seoul, South Korea) and segmented. Segmenting threshold was set at the level enabling the visualisation of rat hard tissues. Furthermore in order to access certain topographic points, digital model was 'cut' in a parallel manner to the midline. All angles were measured in the Ez3D Plus software.

### **Results:**

The obtained results support the hypothesis that experimental RME in rats bears certain biomechanic resemblance to the RME performed in humans. The most important findings of the study can be found in the list below:

1. The opening of the median palatal suture was successfully achieved during the experimental RME in rats between the 15th and 21st day of active treatment.
2. In the location adjacent to the I upper molars (M1) the median palatal suture space after 21 days equalled 255,4 % of width of the suture in the control group; the amount of mean suture expansion was 217,5  $\mu\text{m}$ .
3. In the location adjacent to the III upper molars (M3) the amount of mean median suture expansion after 21 days was 163,1  $\mu\text{m}$  and was smaller than in comparison with the M1 location.
4. The median palatal suture opening was not parallel as assessed on the axial planes with the larger opening occurring in the anterior maxillary region.
5. The increase of the transverse maxillary dimensions on the level of the alveolar crest equalled 497,2  $\mu\text{m}$  in M1 location and 439,7  $\mu\text{m}$  in M3.
6. The increase of the transverse maxillary dimensions on the level of the root apices equalled 338,4  $\mu\text{m}$  in M1 location and 580,8  $\mu\text{m}$  in M3.
7. The increase of the transverse maxillary dimensions on the level of maxillary base equalled 504,1  $\mu\text{m}$  in M1 location and 504,7  $\mu\text{m}$  in M3.
8. No statistically significant alveolar buccal bending/rotation in the area adjacent to the I upper molars could be detected.
9. Significant increase in buccal inclination of upper I molars by  $+6,7^\circ/+6,1^\circ$  could be identified after 7 days of active expansion. This parameter did not alter significantly during further expansion.
10. The action of orthopedic forces caused apart from the increased buccal inclination the buccal translation of upper I molars which could be detected after 21 days. Nevertheless the majority of upper dental arch expansion was a result of skeletal expansion.

11. A positive correlation between the median suture width at the M1 and M3 location was detected.
12. At the M3 location, the transverse maxillary dimensions did not alter significantly until the median suture expansion occurring after 14 days of expansion.
13. Two stages of the increasing alveolar angulation could be identified at the M3 location: the first occurred before the 7th day of expansion and the second between 15th and 21st day of the active phase. The former can be treated as result of the increasing intraosseous tension whereas the latter can be attributed to the suture expansion.
14. Statistically significant increase in buccal angulation of the upper III molars equalling +12 ° was already observed after 7 days of expansion. Detected angulation was higher than in the area of the I upper molars. The discussed parameter further increased between 15th and 21st day probably due to the buccal rotation of alveolar processes with molar teeth.
15. The ratio of the transverse skeletal expansion to total upper arch expansion equalled 50,8% in the I molar area whereas it equalled 58% in the III molar area.
16. The movement of the upper III molars during the active phase could be described as buccal tilting whereas the movement of the I upper molars was a combination of buccal tilting and buccal translation.
17. Slight extrusion of both the I and III upper molars was also detected after 21 days of active therapy.
18. Positive correlation between the width of the median palatal suture and the angulation of the lower I molars was identified after 21 days of active treatment.
19. There was no statistically significant increase in the distance between the apices of the mesial roots of the lower I molars (LM1) during the active therapy.
20. Correlation between the suture expansion and lower dental arch width was identified after 21 days of expansion.
21. One can hypothesize the following sequence of events occurring during the experimental RME in rats in the M1 area:  
Days 1-7: significant upper arch expansion, significant buccal tipping of the first upper molars, insignificant alveolar rotation, insignificant skeletal expansion  
Days 8-14: insignificant upper arch expansion, no further buccal tipping of the upper I molars, insignificant buccal alveolar rotation, insignificant skeletal expansion (lack of visible dental, alveolar and skeletal changes along with the continued action of expander suggests that this is a stage of highest intraosseous tension).

Days 15 – 21: significant upper dental arch expansion, slight extrusion and buccal translation of the upper I molars is possible, no further buccal tipping of the upper I molars, insignificant alveolar rotation, significant skeletal expansion

22. One can hypothesize the following sequence of events occurring during the experimental RME in rats in the M3 area:

Days 1-7: buccal tipping of upper III molars, buccal rotation of alveolar processes, limited expansion of median palatal suture and skeletal expansion

Days 8-14: limited dental movement and alveolar rotation, limited expansion in median palatal suture and skeletal expansion

Days 15-21: significant expansion of median palatal suture, further buccal rotation of alveolar processes with teeth, extrusion of III upper molars

23. The action of orthopedic forces had an influence on the morphology of rat's sphenoccipital synchondrosis (SOS).
24. The most significant widening of the lower part of the SOS (+165,5  $\mu\text{m}$ ) occurred before the median palatal suture opening which was related with the accumulation of significant intraosseous stress.
25. No widening of the upper part of the SOS could be observed during expansion. What is more, between the 8th and 14th day of active phase statistically significant decrease in the space of the SOS in this location (- 40  $\mu\text{m}$ ) was observed
26. MicroCT is a diagnostic method of sufficient accuracy to assess the morphology of rat's SOS and cranial sutures.
27. Statistically significant effect on all assessed cranial sutures i.e. interpremaxillary suture, premaxillaro-maxillary suture, median palatal suture, transverse palatal suture, zygomatico-maxillary suture, naso-frontal suture, internasal suture and nasopremaxillary suture was detected.
28. Statistically significant decrease of the zygomatico-maxillary suture width (- 63,5  $\mu\text{m}$ ) was detected after 14 days of active therapy.
29. Interpremaxillary suture underwent statistically significant expansion after 7 days of active therapy. Further expansion continued with a pace of 30-40  $\mu\text{m}/\text{week}$  with a final result of expansion reaching +98,8  $\mu\text{m}$ .
30. Transverse palatal suture was expanded between the 15th and 21st day of active treatment simultaneously with the expansion of median palatal suture.
31. Internasal suture was constricted for the first 14 days of expansion. Between the 15th and 21st significant widening of this suture was observed. It can be hypothesized that

orthopedic forces cause constriction of the internasal suture before the opening of the median palatal suture and widening after the median palatal suture was opened.

32. Statistically significant, reversible widening of the naso-frontal suture (+37,2  $\mu\text{m}$ ) was observed between the 8th and 14th day of the active treatment.
33. Naso-premaxillary suture was expanded by 61,1  $\mu\text{m}$  after 7 days of active treatment; no further changes were detected.
34. Maxillaro-premaxillary suture was expanded by 71,1  $\mu\text{m}$  after 7 days of active treatment; no further changes were detected.
35. VNA angle increased after 7 days (+2,4°) and 21 days (+1,6 °) with total change equalling +4°.
36. The most significant change in the Jug-N-Jug angle occurred between a 15th and 21st day of expansion.
37. SPJ-N-SPJ angle showed a reversible, statistically significant increase between the 8th and 14th day of treatment.
38. Significant change in the PKP-N-PKP angle value occurred after 14 and 21 days of expansion equalling +3,6°.
39. Continuous increase of the value of the V-N: TPPT-A was observed in all study subgroups. Total change of this parameter equalled +1,26 °.

## **Conclusions:**

1. Orthopedic forces caused diverse dental, alveolar and skeletal changes on the level of the I and III upper molars. The observed shape of the suture opening was not parallel on the axial plane. This may indicate varying resistance to the orthopedic forces depending on the location.
2. Buccal rotation of the alveolar processes occurring after the median palatal suture opening needs to be differentiated from the buccal tilting of upper molars. The latter can be perceived as a potential cause of iatrogenic complications which occurs when the level of intraosseous stress is increased and the median palatal suture is not yet significantly expanded. It can be assumed that majority of clinically observed complications during RME therapy is related with the lack of the suture expansion despite the increased level of intraosseous stress.



3. The established biomechanic sequence suggests that skeletal expansion is in every case preceded with the dental and alveolar effect. This should be taken into consideration during treatment planning.
4. The movement – increase of buccal tipping of lower molars could be detected after 7 days of expansion. However it did not affect significantly the transverse dimensions of the lower dental arch after 21 days. Despite the expander design involving the covering of occlusal surfaces it may suggest that adaptive expansion of the lower dental arch may be expected during RME therapy.
5. The range of orthopedic forces exceeded the rat facial skeleton and involved the changes in SOS and naso-frontal suture. The morphological changes were most significant before the median palatal suture was expanded.
6. The effect on SOS may have beneficial effect during class III defects correction.
7. Changes within the maxillary and perimaxillary sutures were observed before and after median palatal suture expansion.
8. 3D cephalomaetric analysis indicated that skeletal changes can be expected in all reference planes.