



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

Efeitos da expansão maxilar na função auditiva e vocal em pacientes sem fissura labiopalatina e com fissura labiopalatina e deficiência maxilar transversa: um estudo controlado multicêntrico e randomizado[☆]

Harpreet Singh ^a, Raj Kumar Maurya ^{b,*}, Poonam Sharma ^a,
Pranav Kapoor ^a, Tanmay Mittal ^a e Mansi Atri ^a

^a ESIC Dental College and Hospital, Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Delhi, Índia

^b Army Dental Centre (Research & Referral), Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, New Delhi, Índia

Recebido em 8 de maio de 2019; aceito em 18 de setembro de 2019

PALAVRAS-CHAVE

Fissura labial;
Fissura palatina;
Perda auditiva;
Técnica de expansão
palatal;
Qualidade de voz

Resumo

Introdução: A associação entre o tratamento da deficiência maxilar transversa e a recuperação das funções auditivas e vocais ganhou atenção nos últimos anos.

Objetivo: Avaliar os efeitos da expansão rápida da maxila na função auditiva e vocal em crianças sem fissura labiopalatina e com fissura labiopalatina bilateral com deficiência maxilar transversa.

Método: Foram recrutados para este estudo 53 pacientes (26 sem fissura e 27 com fissura labiopalatina bilateral; média de $11,1 \pm 1,8$ anos) que necessitam de expansão rápida da maxila para correção de arcos maxilares estreitos. Oito subgrupos foram estabelecidos com base no grau de perda auditiva. Registros audiométricos e timpanométricos de tons puros foram obtidos para cada indivíduo em quatro períodos. Os primeiros registros foram obtidos antes da expansão rápida da maxila (T0), o segundo após a expansão (T1) (média de 0,8 meses), o terceiro após três meses (T2) (média de 3 meses) e o quarto no fim do período de retenção (T3) (média de 6 meses). Anova e o teste *post-hoc* de Tukey HSD foram usados para análise dos dados. Além disso, a análise da voz foi feita com um programa PRAAT atualizado em um laboratório de fala computadorizada em T0 e T2. Foi usado um teste *t* de amostras pareadas para comparação dos valores médios dos parâmetros de voz em T0 e T2 nos dois grupos.

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.09.010>

[☆] Como citar este artigo: Singh H, Maurya RK, Sharma P, Kapoor P, Mittal T, Atri M. Effects of maxillary expansion on hearing and voice function in non-cleft lip palate and cleft lip palate patients with transverse maxillary deficiency: a multicentric randomized controlled trial. Braz J Otorhinolaryngol. 2021;87:315–25.

* Autor para correspondência.

E-mail: bracedbyraj@gmail.com (R.K. Maurya).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

Resultados: O tratamento com expansão rápida da maxila produziu um aumento significativo nos níveis auditivos e nos volumes da orelha média de todos os pacientes sem fissura e pacientes com fissura labiopalatina bilateral e níveis auditivos normais e com perda auditiva condutiva leve, durante os períodos de observação T0-T1, T1-T2, T0-T2 e T0-T3 ($p < 0,05$). Aumento significativo foi observado nos volumes da orelha média direita durante os períodos T0-T1, T0-T2 e T0-T3 em pacientes sem fissura e com perda auditiva moderada. Para a análise de voz, diferenças significantes foram observadas apenas entre a frequência fundamental média T0 e T2 (F0) e a porcentagem de *jitter* ($p < 0,05$) no grupo sem fissura. No grupo com fissura, não foram observadas diferenças significantes para nenhum parâmetro de voz entre os períodos T0 e T2.

Conclusão: A correção da anatomia palatal pela expansão rápida da maxila tem um efeito benéfico tanto na melhoria da audição quanto na função normal da orelha média em pacientes sem fissura e com fissura labiopalatina bilateral. Da mesma forma, a expansão rápida da maxila influencia significativamente a qualidade da voz em pacientes sem fissura, sem efeito significativo em pacientes com fissura labiopalatina bilateral.

© 2019 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

As deficiências transversais da maxila representam um componente significativo de todas as máis oclusões em pacientes ortodônticos com e sem fissura labiopalatina. A respiração oral, a sucção de dedos e chupeta e a deglutição atípica têm sido incluídas entre os inúmeros fatores causadores da deficiência da largura maxilar, resultam frequentemente em efeitos prejudiciais ao padrão dentofacial.¹

Estimativas da Organização Mundial da Saúde revelam que a perda auditiva é um problema de saúde pública em todo o mundo, com um número considerável de indivíduos (aproximadamente 42 milhões de pessoas) com mais de três anos afetado por ela. Aproximadamente, 28% a 38% das crianças são afetadas por distúrbios da orelha média com impacto adverso de longo alcance em seu desenvolvimento psicossocial, estético, orofacial, acadêmico e geral.^{2,3} A perda auditiva condutiva (PAC) é um dos distúrbios auditivos comuns caracterizados por limiares elevados de condução aérea, avaliados pela audiometria tonal.⁴ Uma possível conexão entre PAC e constrição maxilar tem sido amplamente relatada na literatura.⁵ Fingerioth⁶ atribuiu a gênese da diminuição da permeabilidade nasal com respiração oral à deficiência maxilar, que por sua vez fornece um ambiente propício ao desenvolvimento de PAC. Alterações patológicas na orelha média também podem ocorrer devido a disfunções da trompa de Eustáquio (TE), levam à perda auditiva e/ou outras complicações, como otite média.⁵

Pacientes com fissura labiopalatina (FLP) geralmente enfrentam uma infinidade de desafios ao longo da vida devido ao crescimento restrito da maxila; e frequentemente manifestam problemas de fala, ortodônticos, auditivos e dentários.⁷ Aproximadamente 50% a 60% dos indivíduos com FLP também exibem status anormal da orelha média como perda auditiva condutiva flutuante leve a moderada.⁸ A otite média secretora que ocorre devido a malformações anatômicas e funcionais da TE e na região do esfíncter velofaríngeo é uma alteração frequente associada à audição nesses pacientes.⁷ A integridade anatômica e fisiológica

do sistema auditivo exibe uma forte interrelação com a aquisição e o desenvolvimento da linguagem verbal e a fala.⁷ A produção desviante da fala na FLP é caracterizada por articulação retraída e hipernasalidade. Inúmeros fatores de risco que predis põe a fala nasal em pacientes com FLP incluem infecções recorrentes da orelha média, distúrbios neuromusculares, malformações cerebrais, variações anatômicas do palato e falência velofaríngea.^{9,10} Além disso, a discrepância transversal da maxila, associada à estrutura gravemente afetada do trato vocal, pode alterar a qualidade vocal nas regiões oral, nasal ou faríngea, que pode ser agravada devido a FLP e cirurgias associadas a ela.¹¹ Demonstrou-se que a expansão maxilar contribui para melhorar a respiração nasal, a função mastigatória, facilita a futura erupção dentária permanente e melhora a estética, leva a uma maior autoestima nos casos de FLP.

Alterações substanciais produzidas pela expansão rápida da maxila (ERM) podem alterar a forma do tecido oral, nasal e faríngeo, contribuem para melhorar a respiração e a correção de uma mordida cruzada. Em pacientes em crescimento com PAC e deficiência maxilar associada, o efeito ortopédico da ERM pode ajudar a melhorar a audição devido a uma restauração do funcionamento normal dos óstios faríngeos das trompas de Eustáquio.^{5,12-16}

Embora a associação e correlação entre o tratamento da constrição maxilar transversa e a inesperada recuperação das funções auditivas já tenha sido amplamente documentada na literatura, uma recente revisão sistemática de Fagundes et al.¹⁷ enfatizou a necessidade de mais ensaios controlados e randomizados para chegar a uma conclusão mais confiável. Alguns estudos também avaliaram os efeitos da terapia com ERM na função da voz em pacientes sem fissura.¹⁸⁻²⁰

Entretanto, que seja de nosso conhecimento, não foram feitos estudos que investigaram o efeito intervencionista da expansão maxilar na melhoria das funções da fala e audição em pacientes com e sem fissura labiopalatina que apresentavam graus variados de padrões de capacidade auditiva. Assim, este estudo prospectivo controlado teve como

objetivo avaliar os efeitos da ERM em pacientes sem fissura e com idade igual e em pacientes pareados por idade sem fissura labiopalatina e pacientes com fissura labiopalatina bilateral (FLPB) não sindrômica que necessitaram de expansão maxilar como uma das modalidades de tratamento para correção adjuvante ou melhoria da audição e da audição e função vocal.

Material e métodos

O presente estudo foi conduzido como um projeto de pesquisa inter-hospitalar que envolveu dois centros universitários. A aprovação para o estudo foi obtida do comitê de ética institucional, ver apêndice 'A' para O/o DGAFMS / DG-3B Carta n° 15965/56th; e o presente estudo clínico foi registrado no *Institutional Health Care Registry*, centro de pesquisa e referência, ver ADC/ Pers/RKM / 2017, de 11 de fevereiro de 2017. O consentimento informado por escrito foi obtido dos pais de todos os pacientes após a explicação dos detalhes do estudo. Com base no nível de significância alfa de 0,05 e pelo menos 80% de poder com um erro permitido de 15%, 53 pacientes na faixa de 9 a 13 anos (média de $11,1 \pm 1,8$ anos) foram recrutados para o estudo. Os pacientes foram divididos em dois grupos: o Grupo I consistiu em 26 pacientes sem fissura labiopalatina (11 do sexo feminino, 15 do masculino) que necessitavam de expansão maxilar para correção da constrição maxilar transversa; e o Grupo II, constituído por 27 pacientes com FLBP (13 do sexo feminino, 14 do sexo masculino) que necessitavam de expansão maxilar para correção da constrição maxilar e colapso do arco.

Os pacientes incluídos neste estudo prospectivo preencheram os seguintes critérios de inclusão nos grupos com fissura: (1) presença de deficiência maxilar transversa; (2) mordida cruzada posterior bilateral; (3) reparo labial e palatal na primeira infância apenas, sem intervenções cirúrgicas subsequentes; (4) sem histórico de tratamento ortodôntico anterior; (4) alto grau de cooperação. Os critérios de inclusão para o grupo de controle sem fissura foram: (1) oclusão de Classe I de Angle, com mordida cruzada posterior bilateral; (2) sem histórico de tratamento ortodôntico anterior e (3) paciente motivado internamente e cooperativo. Os critérios de exclusão foram os seguintes para os dois grupos: (1) histórico de tratamento ortodôntico, (2) histórico de cirurgia nasal ou faríngea, (3) presença de sintomas nasais e/ou respiratórios e alérgicos (3) presença de doença sistêmica; (4) anomalias craniofaciais e sindrômicos, e (5) presença de

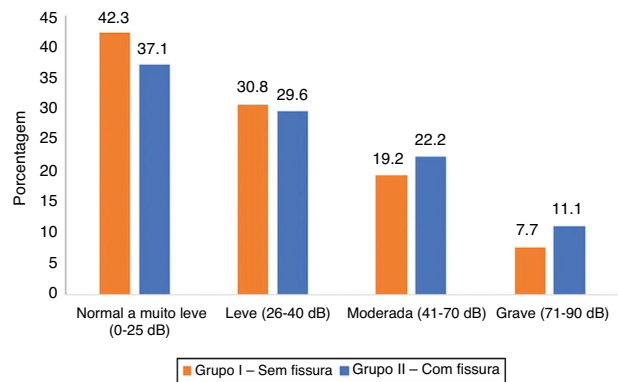


Figura 1 Histograma mostra a distribuição da porcentagem de pacientes com base na capacidade auditiva.

cerúmen, perfuração da membrana timpânica e/ou outras possíveis alterações confirmadas pelo exame otoscópico.

Com base na classificação do grau de perda auditiva,²¹ pacientes do grupo sem fissura, ou seja, o Grupo I, e com fissura, ou seja, o Grupo II, foram subgrupados em: níveis normais de audição a perda auditiva muito leve (Ia, IIa), perda auditiva leve (Ib, IIb), perda auditiva moderada (Ic, IIc) e perda auditiva grave (Id, IId)). As frequências percentuais de indivíduos com um grau variável de perda auditiva são mostradas na [figura 1](#). A perda auditiva nos pacientes era puramente condutiva e não neurossensorial ou mista, como demonstrado por medições comparativas dos limiares de condução aérea e óssea dos audiogramas de tons puros. Maior perda auditiva foi observada para frequências entre 250 ± 1000 Hz em comparação com frequências entre 1000 ± 2000 Hz. Alguns pacientes com perda auditiva leve desconheciam suas deficiências auditivas.

Antes do início do procedimento com ERM, os níveis auditivos de cada paciente eram avaliados por um otorrinolaringologista por meio de audiogramas e timpanogramas de tons puros. A ERM foi feita com o expansor Hyrax (9mm; Leone, Itália), ativado duas vezes ao dia, uma de manhã e outra à noite (0,5mm/dia), por 7 a 14 dias, até a expansão necessária para cada indivíduo fosse obtida com a eliminação completa da mordida cruzada posterior ([figs. 2a-c, 3 e 4a-c](#)). Posteriormente, o parafuso era travado com um laço de ligadura dupla e o expansor servia como retentor passivo pelos próximos 3 meses para permitir a formação óssea ao nível da sutura e evitar a recaída do espaço de expansão na região do incisivo. Após 3 meses, o expansor foi removido e um arco transpalatal rígido com a



Figura 2 (a) Imagem oclusal maxilar pré-tratamento mostra arco maxilar contraído em um paciente sem fissura; (b) montagem do aparelho de expansão rápida da maxila Hyrax em um paciente sem fissura; e (c) Após a conclusão do tratamento com ERM.



Figura 3 Radiografia com imagem oclusal mostra abertura em leque da sutura média-palatina no mesmo paciente.

extensão ao longo dos dentes anteriores foi inserido e usado por 6 meses, momento em que a mineralização da sutura foi concluída.

Seguindo os protocolos padronizados propostos por Munhoz et al.,²² todos os pacientes foram submetidos aos testes de avaliação audiométrica e timpanometria em quatro momentos: T0 - antes da ERM; T1 - no fim da ERM (média de 0,8 meses); T2 - 3 meses após a ERM; e T3 - no fim do período de retenção de 6 meses, em cabine à prova de som. Todas as avaliações foram feitas com um audiômetro interacústico Maico MA 53 devidamente calibrado (Guymark, Inglaterra), com um fone de ouvido TDH-39, e o *software* Grason-Stadler Middle Ear Analyzer, versão 2 (Minnesota, EUA), em cabine à prova de som. Após a avaliação de todos os registros audiométricos por um otorrinolaringologista, os limiares de tons puros nas quatro frequências de fala de 250, 500, 1000 e 2000 Hz foram obtidos separadamente para cada orelha. Registros timpanométricos também foram usados para determinar os valores de complacência estática e os volumes da orelha média. Nenhum medicamento anti-inflamatório, antibiótico ou fluidificante de muco foi prescrito durante o tratamento.

Amostras acústicas de voz foram registradas de todos os pacientes em T0, ou seja, antes da ERM, e em T2, ou seja, no fim de 3 meses da fase de estabilização, sem o aparelho na boca. Todas as amostras de voz foram gravadas em uma sala

silenciosa com um microfone condensador unidirecional de alta qualidade da marca Shure, modelo SM-58, em um computador de mesa (Dell 4, 3,2 GHz, 512 MB RAM). O microfone foi posicionado a uma distância constante de 10 cm da boca em uma posição fora do eixo de 45° a 90°. ²³ De acordo com a técnica de Boersma e Weenink,²⁴ a manobra para gravação da fala foi a seguinte: no início, foi permitido um período de descanso inicial de pelo menos 10 minutos para cada indivíduo. Posteriormente, os indivíduos foram instruídos a falar a vogal /a/ três vezes por pelo menos 5 segundos em uma posição sentada confortável, após uma inspiração profunda. As três amostras de voz gravadas foram retransmitidas diretamente para o computador; e depois de escolher os dados da mais alta qualidade de três amostras gravadas, a parte do meio de 3 segundos foi editada e analisada com o RAAT atualizado²⁴ para reduzir a variabilidade.

Os registros auditivos (audiogramas e timpanogramas) e gravações de voz foram randomizados para avaliação por um avaliador bem treinado. Isso ajudou a garantir que o avaliador permanecesse cego, eliminou a influência do viés cognitivo nos resultados das avaliações.

Os seguintes parâmetros acústicos foram analisados e comparados entre T0 e T2:

- Frequência fundamental média (F0; Hz): representou o número de vibrações da prega vocal por segundo;
- Porcentagem de *jitter* (perturbação do *pitch*): representou desvio de curto prazo (ciclo-a-ciclo) na frequência fundamental de um sinal/desvio da verdadeira periodicidade de um sinal presumivelmente periódico;²⁵
- Porcentagem de *shimmer* (perturbação da amplitude): representou a variabilidade da amplitude pico a pico entre ciclos adjacentes de vibrações das pregas vocais;²⁶
- Razão harmônica-ruído (HNR; dB): quantificou a quantidade de ruído aditivo no sinal de voz.

Análise estatística

Os dados foram processados com o *software* SPSS para Windows (versão 16; SPSS Chicago, III). O teste de Kolmogorov-Smirnov foi usado para verificar a normalidade da distribuição dos dados. Estatísticas descritivas (inclusive médias e desvios-padrão) foram usadas para as medidas dos limiares de tons puros (nas frequências investigadas) e as medidas timpanométricas de cada orelha foram calcu-

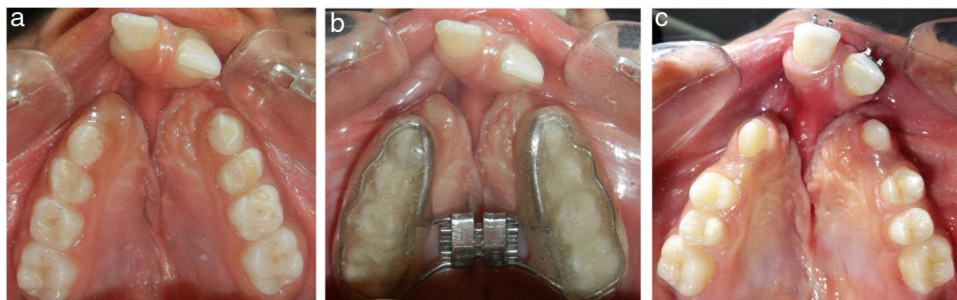


Figura 4 (a) Imagem oclusal maxilar pré-tratamento mostra o colapso do arco superior em paciente com fissura labial bilateral, (b) montagem do aparelho de expansão rápida da maxila Hyrax no início da ERM no mesmo paciente e (c) imagem oclusal maxilar após a conclusão da ERM.

Tabela 1 Níveis de significância após a análise com Anova das medidas dos limiares de tons puros dos dados do audiograma

Classificação do grupo	p-valor	
	OD	OE
<i>Sem fissura (I)</i>		
Normal a muito leve (Ia)	0,0024 ^a	0,0062 ^a
Leve (Ib)	0,0161 ^a	0,0224 ^a
Moderada (Ic)	0,0647	0,0023 ^a
Grave (Id)	0,936	0,9638
<i>Com fissura (II)</i>		
Normal a muito leve (IIa)	0,0003 ^a	0,0082 ^a
Leve (IIb)	0,1962	0,0357 ^a
Moderada (IIc)	0,9212	0,9575
Grave (IId)	0,966	0,9359

OD, orelha direita; OE, orelha esquerda.

^a $p < 0,05$ é significativa.

ladas separadamente em cada um dos quatro períodos de medição. Os dados referentes aos níveis auditivos, volume da orelha média e valores de complacência estática foram avaliados pelo teste de análise de variância (Anova). O teste *post hoc* de Tukey HSD foi aplicado para determinar em quais períodos as alterações nas medições foram significantes.

Os parâmetros de fala dos grupos sem fissura e com fissura foram avaliados independentemente entre os períodos T0 e T2, com o teste *t* de amostras pareadas. Os testes de significância foram bicaudais e o nível mínimo de significância estatística foi estabelecido em $p < 0,05$.

Resultados

O presente estudo foi proposto para avaliar a capacidade auditiva e as funções da voz sob o efeito intervencionista da expansão maxilar em pacientes sem fissura e com FLBP. As médias das medidas dos limiares de tons puros, o volume da orelha média e os valores de complacência estática em diferentes intervalos de tempo para diferentes grupos são mostrados nas [figura 5 a–c](#), respectivamente. A amostra dos Grupos Ia e IIa mostrou diferenças estatisticamente significantes para o limiar médio de tons puros nas orelhas direita e esquerda ($p < 0,05$) ([tabela 1](#), [tabelas 1 e S1](#); [fig. 5a](#)). Melhorias significantes foram observadas nos níveis de audição das orelhas direita e esquerda do Grupo Ia durante os períodos de observação T0-T1, T1-T2, T0-T2 e T0-T3 ([tabela 2](#)). Entretanto, as alterações de T1-T3 e T2-T3 não foram estatisticamente significantes ([tabela S2](#)). A amostra do grupo Ib apresentou melhorias auditivas estatisticamente significantes em ambas as orelhas, nos períodos de observação T0 a T1, sem alterações significantes durante outros intervalos de observação ([tabela 1](#), [tabelas 1, 2](#), [tabelas 1, 2](#), [S3 e S4](#)). No grupo Ic, foram observadas melhorias estatisticamente significantes nos períodos T0-T1, T0-T2 e T0-T3 na orelha esquerda ([tabela 2](#), [S5 e S6](#)). No entanto, no Grupo Id, as diferenças entre os diferentes períodos de observação não foram estatisticamente significantes ([tabela 1](#), [tabelas 1 e S7](#)).

Nos pacientes do grupo com fissura com níveis auditivos normais, foram observadas melhorias estatisticamente

significantes nos períodos T0 a T1, T0 a T2 e T0 a T3 em ambas as orelhas ([tabela 2](#), [tabelas 2](#), [S8 e S9](#)).

A comparação intragrupo no Grupo IIb revelou uma diminuição significativa na medida do limiar médio de tons puros (em diferentes frequências) apenas na orelha esquerda ([tabela S10](#)). A comparação das médias no Grupo IIb revelou melhorias auditivas significantes durante o período T0-T3 na orelha esquerda ([tabela 2](#), [tabelas 2](#), [S10 e S11](#)). Por outro lado, as melhorias auditivas não foram estatisticamente significantes nos grupos IIc e IId ([tabela 1](#), [tabelas 1](#), [S12 e S13](#)).

No Grupo Ia, o volume da orelha média direita apresentou melhoria estatisticamente significativa nos seguintes períodos de observação: T0-T1, T1-T2 e T0-T3; enquanto as melhorias no volume da orelha média esquerda não foram estatisticamente significantes ([tabela 3](#), [tabelas 3](#), [S14 e S15](#)). As alterações observadas nos valores de complacência estática durante os períodos da expansão, estabilização e retenção foram pequenas e insignificantes nos grupos Ia e IIa ([tabela 3](#), [tabelas 3 e S14](#)). O teste *post hoc* de Tukey mostrou uma alteração altamente significativa ($p = 0,000$) no volume da orelha média direita durante o período T1-T3 no Grupo IIa ([tabela S16](#)).

As amostras dos Grupos Ib e IIb mostraram um aumento estatisticamente significativo nos volumes médios das orelhas direita e esquerda, sem alteração significativa nos valores de complacência estática ([tabela S14](#)). No Grupo Ib, observou-se alteração significativa no volume da orelha média durante os períodos T0-T1 e T0-T3 na orelha direita e durante o período T1-T2 na orelha esquerda ([tabela S17](#)). Os volumes da orelha média direita e esquerda no Grupo IIb também apresentaram aumentos significantes durante os períodos T0-T1, T0-T2 e T0-T3 ([tabela S18](#)). No grupo Ic, diferenças médias significantes foram observadas apenas para os volumes da orelha média direita durante os períodos de observação T0-T1, T0-T2 e T0-T3; enquanto as alterações no volume da orelha média nas amostras do grupo IIc não foram estatisticamente significantes ([tabela 3](#), [tabelas 3](#), [S14 e S19](#)). As alterações nos valores de complacência estática foram leves e sem significância estatística nos Grupos Ic e IIc ([tabela 3](#), [tabelas 3 e S14](#)). Entretanto, os Grupos Id e IId não apresentaram melhorias nos volumes da orelha média e nos valores de complacência estática ([tabela S14](#)).

Quanto à análise de voz, as médias dos diferentes parâmetros de voz nos períodos T0 e T2 estão representadas na [figura 6](#). No grupo sem fissura, foram observadas diferenças estatisticamente significantes apenas entre as médias de T0 e T2 na F0 (diminuição significativa) e *jitter* (%) ($p < 0,05$; [tabela 4](#)). No grupo com fissura, não foram observadas diferenças significantes para nenhum parâmetro entre os períodos de observação T0 e T2 ([tabela 4](#)).

Discussão

A correção da deficiência maxilar transversa por expansão do arco palatal é considerada uma das etapas mais importantes na reabilitação de qualquer deformidade ortodôntica e dentofacial, tanto nas constrições em pacientes com fissura e sem fissura. Devido à combinação de efeitos favoráveis ao tratamento dentofacial e craniofacial,²⁷ a ERM provou ser uma modalidade de tratamento biológica

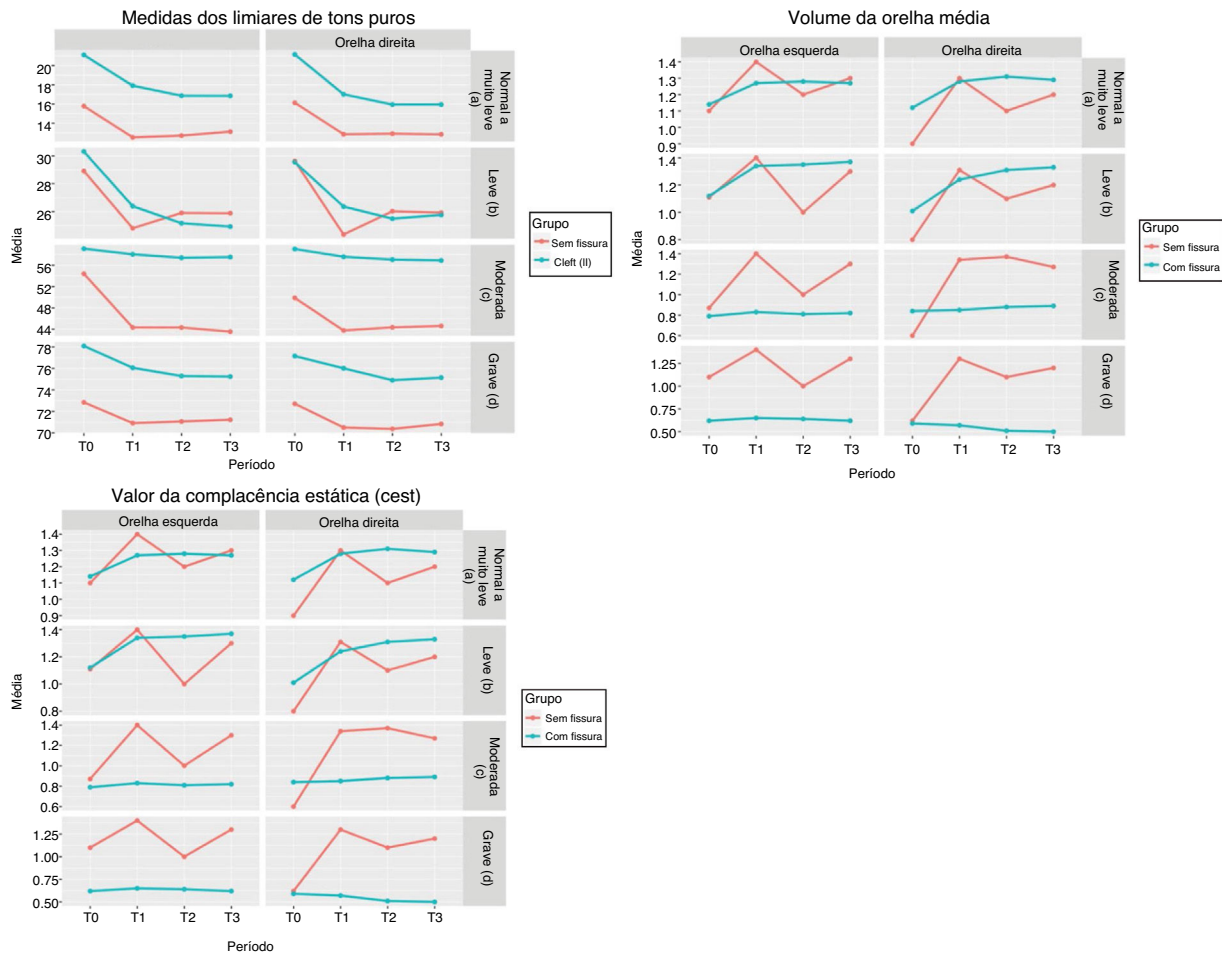


Figura 5 (a) Médias das medidas dos limiares de tons puros de audiogramas, em diferentes intervalos de tempo em decibéis, entre diferentes grupos. (b) Médias do volume da orelha média em diferentes períodos para grupos individuais. (c) Médias dos valores de complacência estática para grupos individuais.

e biomecanicamente correta para a correção de mordidas cruzadas posteriores, apinhamento dentário, estenose nasal, padrão respiratório anormal e PAC em crianças em crescimento que apresentam constrição maxilar transversa.¹⁷ O mecanismo que associa a expansão maxilar à melhoria auditiva pode ser explicado pelas alterações favoráveis nos tecidos moles que acompanham a correção da anatomia palatina na ERM. Estudos demonstraram que a ERM influencia a função muscular dos óstios tubários, em que o alongamento do músculo elevador e músculo tensor do véu palatino abre o orifício faríngeo da TE, permite que o ar entre ou saia da orelha média através da tuba auditiva. Isso garante pressões equilibradas em ambos os lados da membrana timpânica, vibração livre da cadeia ossicular, permite assim o correto funcionamento da membrana timpânica e do sistema auditivo.^{6,12,28,29}

No presente estudo, usamos o expansor Hyrax com cobertura acrílica oclusal devido às suas vantagens de permitir maior expansão esquelética, mais movimento paralelo dos dentes de ancoragem e das duas metades maxilares e estabilidade em longo prazo, em comparação aos expansores convencionais.⁵ As medidas necessárias foram tomadas para garantir a adequação do cegamento ao nível do operador, a

fim de eliminar a influência de fatores de confusão desconhecidos e obter resultados sem viés. Todas as avaliações subjetivas e objetivas (registros auditivos e função vocal) foram feitas em condições de cegamento para ajudar a eliminar a influência do viés cognitivo nos resultados das avaliações.

Quanto aos métodos de avaliação auditiva, um audiograma de tom puro é considerado uma ferramenta vital para a avaliação subjetiva dos níveis auditivos e para medir o nível de reconhecimento de sons de tons puros em diferentes frequências.¹⁷ As medidas comparativas dos limiares de condução aérea e óssea em todas as frequências auditivas com o uso de um audiograma de tons puros ajudam a diferenciar uma perda auditiva condutiva da perda auditiva do tipo neurosensorial.³⁰

A avaliação audiométrica objetiva com timpanometria fornece informações quantitativas valiosas sobre a complacência ou mobilidade da membrana timpânica, presença de fluido na orelha média, mobilidade e pressão no sistema da orelha média, disfunções da TE e volume do canal auditivo. A medida da complacência estática da membrana timpânica e do volume da cavidade timpânica através do uso de timpanogramas mostra-se benéfica na determinação das alterações

Tabela 2 Estatística descritiva e comparações estatísticas das mudanças significantes nas orelhas direita e esquerda em diferentes intervalos de tempo dentro dos grupos individuais (teste *post hoc* de Tukey HSD)

Comparação intragrupo	Diferença média		IC95%		p-valor	
	OD	OE	OD	OE	OD	OE
<i>Grupo sem fissura - Normal (Ia)</i>						
T0 vs. T1	-3,2825	-3,2500	-5,8721 a -0,6929	-5,8837 a -0,6163	0,0081 ^a	0,0103 ^a
T0 vs. T2	-3,2225	-3,0700	-5,8121 a -0,6329	-5,7037 a -0,4363	0,0096 ^a	0,0168 ^a
T0 vs. T3	-3,2925	-2,6600	-5,8821 a -0,7029	-5,2937 a -0,0263	0,0079 ^a	0,0470 ^a
T1 vs. T2	0,0600	0,1800	-2,5296 a 2,6496	-2,4537 a 2,8137	0,001 ^a	0,0470 ^a
<i>Grupo com fissura - Normal (IIa)</i>						
T0 vs. T1	-4,1500	-3,2000	-7,4715 a -0,8285	-6,7881 a 0,3881	0,0095 ^a	0,0448 ^a
T0 vs. T2	-5,2200	-4,2500	-8,5415 a -1,8985	-7,8381 a -0,6619	0,0008 ^a	0,0149 ^a
T0 vs. T3	-5,2200	-4,2600	-8,5415 a -1,8985	-7,8481 a -0,6719	0,0008 ^a	0,0146 ^a
T2 vs. T3	0,0000	-0,0100	-3,3215 a 3,3215	-3,5981 a 3,5781	0,0000 ^a	1,0133
<i>Grupo sem fissura - Leve (Ib)</i>						
T0 vs. T1	-5,2900	-4,1200	-9,5741 a -1,0059	-8,7544 a 0,5144	0,0111 ^a	0,0449 ^a
<i>Grupo com fissura - Leve (IIb)</i>						
T0 vs. T3	-3,8000	-5,4000	-9,4203 a 1,8203	-10,7336 a -0,0664	0,2739	0,0464 ^a
<i>Grupo sem fissura - Moderada (Ic)</i>						
T0 vs. T1	-6,1100	-10,0700	-12,8026 a 0,5826	-17,4284 a -2,7116	0,0799	0,0061 ^a
T0 vs. T2	-5,5200	-10,0800	-12,2126 a 1,1726	-17,4384 a -2,7216	0,1258	0,0060 ^a
T0 vs. T3	-5,2600	-9,8500	-11,9526 a 1,4326	-17,2084 a -2,4916	0,1524	0,0072 ^a

IC, intervalo de confiança da diferença; OD, orelha direita; OE, orelha esquerda.

^a $p < 0,05$ é significativa.

na rigidez da membrana timpânica, presença de efusão e alterações volumétricas na cavidade da orelha média.³¹⁻³³ Em virtude de sua não invasividade e sensibilidade com múltiplas vantagens diagnósticas, os registros timpanométricos também foram incluídos em nosso estudo para investigar as alterações auditivas.

Os resultados do presente estudo destacam que todos os indivíduos sem fissura e com fissura, com níveis auditivos normais e com perda auditiva condutiva leve, selecionados para expansão palatina, apresentaram melhorias

significantes nos níveis auditivos durante os períodos de observação T0-T1, T1-T2, T0-T2 e T0-T3. Entretanto, as melhorias na audição após a expansão maxilar não mostraram um aumento significativo, mas foram mantidas durante os períodos de observação T1-T2 e T2-T3. Apesar do consenso geral sobre os efeitos positivos da ERM nos níveis auditivos, existem relatos conflitantes na literatura sobre a manutenção das melhorias auditivas por um período de tempo, alguns autores^{12,14,34} demonstram a manutenção apenas das melhorias auditivas (sem aumento significativo),

Tabela 3 Níveis de significância após a análise com Anova dos dados do timpanograma [volume da orelha média e valores de complacência estática (cest)]

	Volume da orelha média		Valor de complacência estática		Volume da orelha média		Valor de complacência estática	
	OD	OE	OD	OE	OD	OE	OD	OE
Sem fissura – Normal a muito leve (Grupo Ia)					Com fissura – Normal a muito leve (Grupo IIa)			
p-valor	0,0043 ^a	0,3142	0,977	0,2114	0,05 ^a	0,1386	0,5415	0,8051
Sem fissura – Leve (Grupo Ib)					Com fissura – Leve (Grupo IIb)			
p-valor	0,0024 ^a	0,0111 ^a	0,9802	0,763	0,0003 ^a	0,0037 ^a	0,8806	0,3615
Sem fissura – Moderada (Grupo Ic)					Com fissura – Moderada (Grupo IIc)			
p-valor	0,0019 ^a	0,1455	0,9814	0,9859	0,9304	0,9762	0,9954	0,9797
Sem fissura – Grave (Grupo Id)					Com fissura – Grave (Grupo IId)			
p-valor	0,1394	0,7344	0,9955	0,9966	0,9	0,9984	0,9818	0,8606

^a $p < 0,05$ é significativa.

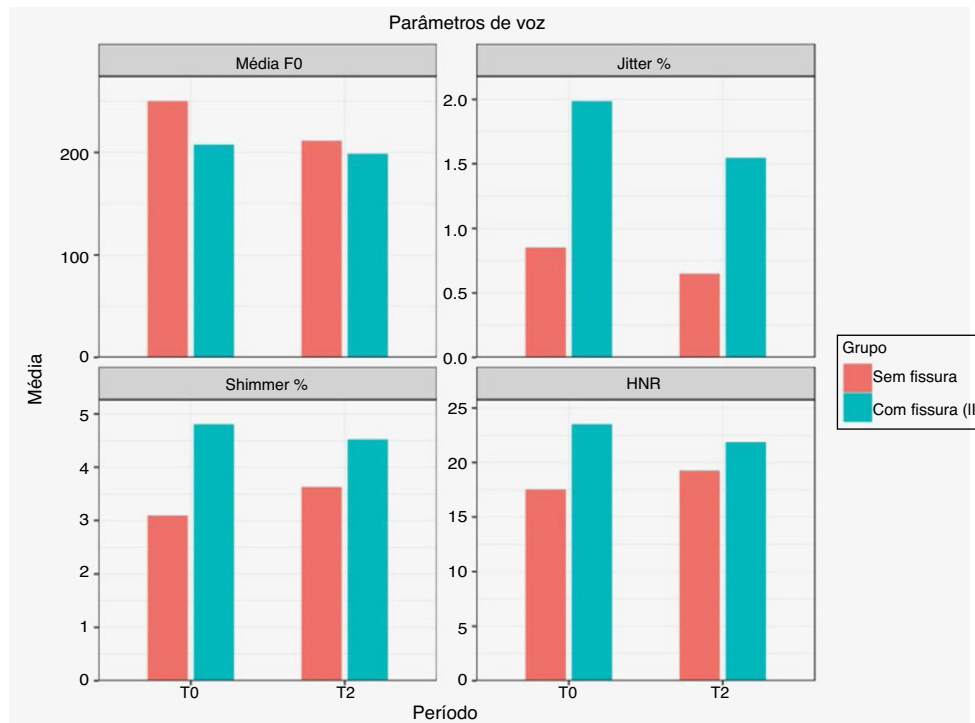


Figura 6 Médias de diferentes parâmetros de voz nos períodos T0 e T2.

enquanto outros^{15,35} relataram recaída dos resultados obtidos após a expansão durante o período de retenção. Essas variações nas melhorias auditivas de curto e longo prazo podem ser atribuídas à variabilidade no status de crescimento da amostra selecionada, à diferença nos aparelhos usados e à inevitável tendência de recaída dos aparelhos Hyrax.

No entanto, os pacientes do grupo com fissura e do grupo sem fissura com perda auditiva moderada a grave não apresentaram melhoria auditiva estatisticamente significativa durante os períodos de observação de T0-T1 a T2-T3, exceto pelas melhorias significativas na orelha esquerda durante os períodos T0-T1, T0-T2 e T0-T3 em pacientes do grupo sem fissura e com perda auditiva moderada.

Em relação aos resultados da avaliação timpanométrica, os volumes da orelha média dos pacientes do grupo sem fissura e com fissura, com níveis auditivos normais e perda auditiva leve, apresentaram melhoria considerável em todos os períodos de observação. Achados semelhantes também foram relatados no estudo de Kilic et al.⁵ e Villano et al.,²⁹ em pacientes sem fissura com mordida cruzada posterior bilateral. No entanto, no grupo sem fissura com perda auditiva moderada, apenas os volumes da orelha média direita durante os períodos de observação T0-T1, T0-T2 e T0-T3 apresentaram melhorias significativas. As alterações no volume da orelha média nas amostras dos grupos sem fissura e com fissura com perda auditiva grave não foram estatisticamente significantes. Aumentos leves, porém não

Tabela 4 Comparação estatística dos parâmetros de voz em T0 e T2 no grupo sem fissura e com fissura (teste *t* pareado)

Classificação	Grupo sem fissura					
Parâmetros	T0	T2	Diferença	Erro padrão	IC95%	p-valor
Média de F0	249,32	210,67	-38,650	13,847	-66,6364 a -10,6636	0,0080 ^a
Jitter %	0,846 ± 0,32	0,642 ± 0,29	-0,204	0,094	-0,3945 a -0,0135	0,0364 ^a
Shimmer %	3,076 ± 1,43	3,612 ± 1,98	0,536	0,533	-0,5412 a 1,6132	0,3206
HNR	17,45 ± 3,7	19,178 ± 4,31	1,728	1,240	-0,7772 a 4,2332	0,1710
Grupo com fissura						
Média de F0	206,67 ± 51,6	197,87 ± 45,6	-8,800	13,772	-36,4911 a 18,8911	0,5259
Jitter %	1,98 ± 0,52	1,54 ± 3,2	-0,440	0,648	-1,7437 a 0,8637	0,5007
Shimmer %	4,789 ± 1,96	4,507 ± 0,98	-0,282	0,438	1,1632 a 0,5992	0,5230
HNR	23,43 ± 5,76	21,78 ± 4,97	-1,650	1,522	-4,7093 a 1,4093	0,2836

F0, frequência fundamental; HNR, razão harmônica-ruído; df, graus de liberdade.

^a *p* < 0,05 (significante).

significantes, foram observados nos valores de complacência estática em pacientes do grupo com FLP e sem FLP com níveis auditivos normais e perdas auditivas moderadas. No entanto, não foram observadas melhorias nos volumes da orelha média e nos valores de complacência estática em todos os pacientes com perda auditiva grave. Isso pode ser atribuído ao aumento do papel das anomalias anatômicas do músculo tensor do véu palatino e às variações morfológicas nas estruturas adjacentes que influenciam a disfunção da TE nesses pacientes.³⁶

Esses achados estão de acordo com os de Handzik-Cuk et al.,³⁷ que também relataram que os níveis auditivos em pacientes não tratados com FLPB apresentaram melhoria apenas em grupos com níveis auditivos de 21–40 dB, enquanto aqueles com níveis auditivos acima de 40 dB, ou seja, perda auditiva moderada e grave, não apresentaram melhoria significativa com a idade. Como o volume da fissura e a tensão pós-operatória local são maiores nos pacientes com FLPB do que na fissura labiopalatal unilateral (FLPU), os pacientes com FLPB exibem um mecanismo compensatório muito mais acentuado dos movimentos da parede faríngea na deglutição e fonação (prega de Passavant e circular) em comparação com os outros tipos de fissuras, o que contribui para a obstrução mecânica do orifício faríngeo da TE. Além disso, o desenvolvimento da face média e da TE é ainda mais lento nesses pacientes devido ao distúrbio da aeração dos seios paranasais, juntamente com a tensão pós-operatória local.³⁷

Em uma análise tridimensional de elementos finitos da função da TE em condições normais e patológicas, Sheer et al.³⁸ concluíram que as alterações na cartilagem e no tecido mucoso periluminal, em vez de alterações nas forças musculares do tensor do véu palatino, podem ter maior importância na função adequada da TE em crianças pequenas com fissuras. Além das disfunções do músculo tensor do véu palatino em pacientes com fissura palatina, alterações na base do crânio e na anatomia faríngea são outros fatores que levam ao mau funcionamento da TE.³⁹ Entretanto, a extensão da contribuição de cada fator para a disfunção da TE e otite média com efusão em pacientes com fissura palatina permanece incerta.

Tunçbilek et al.⁴⁰ relataram que a condição auditiva final de pacientes com fissura palatina é governada por uma combinação de correção cirúrgica, fatores de desenvolvimento e tratamento da doença da orelha média. Embora os mecanismos ainda necessitem ser elucidados, teorizou-se que a preservação da integridade do músculo tensor do véu palatino durante o reparo da fissura palatina parece melhorar o resultado otológico em longo prazo dos pacientes com fissura palatina. Entretanto, os resultados dos estudos que avaliam o papel do músculo tensor do véu palatino na abertura da TE em pacientes sem fissura devem ser extrapolados com cautela em pacientes com fissura palatina bilateral, devido a variações na anatomia, grave mau posicionamento e deficiência tecidual da região orofacial observadas em pacientes com fissura.³⁶

Fagundes et al.¹⁷ observaram que a maioria dos estudos não randomizados que relataram melhorias nos níveis auditivos que variaram de aproximadamente 2 a 19 dB após a ERM apresentou vieses baixos a moderados devido à considerável variação nas características da amostra, características

do tratamento, métodos de avaliação do nível auditivo e período de seguimento. Somente alguns estudos classificaram o nível de deficiência auditiva antes da intervenção com ERM, mas não mostraram diferenças nas avaliações auditivas finais.¹⁷ O presente estudo também avaliou a voz laríngea por análise acústica objetiva, usou o *software* PRAAT, que oferece as vantagens de ser fácil de usar, rápido, econômico, confiável, reprodutível e não invasivo em pacientes pediátricos.^{18,41} Como o aparelho da ERM causa alterações na fala, afeta a posição da língua e o volume palatino,⁴² as gravações de voz foram feitas em T2 após a remoção do aparelho.

As medidas do perfil de extensão vocal, frequência fundamental, índice de perturbação (*jitter* e *shimmer*) e razão harmônica-ruído são os parâmetros acústicos vocais mais importantes, com implicações clínicas.⁴³ A frequência fundamental, que geralmente representa o comprimento das pregas vocais, é determinada fisiologicamente pelo número de ciclos que as pregas vocais produzem em um segundo. As variações que ocorrem na frequência fundamental são representadas pelos parâmetros de *jitter* e *shimmer*. Enquanto o *jitter* indica a variabilidade ou perturbação da frequência fundamental, o *shimmer* refere-se à mesma perturbação em relação à amplitude da onda sonora ou intensidade da emissão vocal.⁴⁴ A falta de controle da vibração das pregas vocais, como observado nas vozes patológicas, geralmente afeta a porcentagem de *jitter*.⁴⁵ Lewis et al.⁴⁶ relataram que os valores de *jitter* e *shimmer* estão associados à resistência das vias aéreas laríngeas e ao fechamento velofaríngeo incompleto em pacientes com fissura labiopalatina.

Para examinar a qualidade da voz, foram obtidas razões harmônicas/ruídos (HNR) para vogais na conversa, conversa-repetição e amostras de repetição de primeira e segunda frases com o *software* PRAAT. A normalização dos valores de HNR (nHNR) foi feita com a duração das porções das vogais medidas. Todas as gravações de voz foram randomizadas para avaliação, a fim de eliminar a influência do viés cognitivo nos resultados das avaliações.

Devido à posição abaixada e para trás da língua durante a fonação da vogal /a/, o fechamento e a constrição no centro do trato vocal não ocorrem como nas outras vozes. Além disso, como o som da vogal /a/ também constitui o núcleo fonológico de muitas sílabas,⁴⁷ avaliamos os parâmetros da vogal /a/ na avaliação da voz. Adicionalmente, com base nas recomendações de Moura et al.,¹⁸ a análise acústica da voz no presente estudo contou com uma tarefa de vogal sustentada para evitar qualquer possibilidade de interferência no controle da prosódia e articulação da fala.

Com relação aos efeitos da ERM na fala, os resultados do presente estudo são difíceis de comparar com investigações anteriores, pois estudos objetivos que avaliaram a influência da ERM na função vocal em indivíduos com fissura palatina bilateral são relativamente inexistentes. Além disso, a heterogeneidade na metodologia, grupos mistos de pacientes e técnicas cirúrgicas não unificadas dificultam a comparação dos resultados da fala de diferentes estudos. Flynn et al.⁴⁸ relataram uma prevalência mais alta de condição anormal da orelha média e diminuição da capacidade auditiva em indivíduos tratados para FLP como um fator importante que afeta potencialmente a fala nesses pacientes. Van Lierde

et al.⁴⁹ postularam que crianças com fissura palatina apresentam uma maior predisposição a distúrbios da voz devido às atividades mais intensas do trato vocal em comparação com indivíduos sem fissura. A diminuição da qualidade vocal nesses pacientes pode ser causada por uma patologia laríngea direta, que frequentemente se manifesta como nódulos vocais bilaterais ou padrão de tensão muscular tipo I, ou pode ser uma resposta indireta compensatória a um distúrbio velofaríngeo.

No presente estudo, após a remoção do aparelho, o grupo com fissura apresentou uma diminuição estatisticamente não significativa na frequência média de F0. Diferentemente dos resultados de Gonzalez et al.,¹¹ que relataram aumento da F0 e maior perturbação do *shimmer* nos casos com reparo da fissura labiopalatina unilateral, não observamos alterações estatisticamente significantes nas medidas das de F0, porcentagens de *jitter* ou *shimmer* e HNR após expansão em pacientes com FLPB. No entanto, no grupo sem fissura, observou-se uma diminuição significativa na F0 e porcentagem de *jitter*. De acordo com os achados de Bilgic et al.,¹⁹ alterações significantes na F0 e percentual de *jitter* no grupo sem fissura em nosso estudo indicam que a aplicação da ERM afeta a qualidade da voz em pacientes sem fissura. Assim, os possíveis efeitos nas alterações da voz precisam ser explicados aos pacientes e pais antes do início da EMR em pacientes sem fissura.

Macari et al.⁵⁰ também demonstraram a influência significativa da ERM na função vocal em pacientes pediátricos. Entretanto, Yurttadur et al.²⁰ não detectaram alterações significativas nos parâmetros de F0, porcentagem de *jitter* ou *shimmer* e razão harmônica/ruído, sugeriram, portanto, que não há alteração na qualidade da voz ou na ressonância após a terapia com ERM. A diferença no desfecho pode ser atribuída a um maior intervalo da faixa etária (de 12 a 17 anos) dos indivíduos escolhidos naquele estudo.

Quanto às limitações do estudo, não foi constituído um grupo controle sem expansão com mordida cruzada posterior devido a razões éticas para negar os benefícios da correção oportuna da mordida cruzada funcional. Além disso, os resultados do presente estudo devem ser extrapolados com cautela e um número maior de ensaios randomizados pode ser planejado e feito em diferentes populações com tamanho maior de amostra e com longos períodos de seguimento para validar ainda mais os achados. Finalmente, estudos futuros podem se beneficiar de uma ajuda diagnóstica avançada, como a vídeo-otoscopia, para observação instrumental da tuba auditiva externa e da membrana timpânica.

Conclusões

O presente estudo mostrou que a correção da anatomia palatina através da EMR teve um efeito positivo e estatisticamente significativo nas melhorias auditiva e na função da orelha média em pacientes sem fissura e com fissura labiopalatina bilateral, com níveis auditivos normais e com leve perda auditiva condutiva. Da mesma forma, a ERM influenciou significativamente a qualidade da voz em pacientes sem fissura, mas não teve efeito significativo em pacientes com fenda labiopalatina bilateral.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

O principal pesquisador e sua equipe nos dois hospitais gostariam de agradecer a todos os pacientes, médicos e equipe de apoio do Departamento de Otorrinolaringologia e Departamento de Ortodontia que participaram do estudo.

Anexo A. Material suplementar

O material suplementar a este artigo pode ser consultado em sua versão eletrônica disponível em [doi:10.1016/j.bjorl.2019.09.010](https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.09.010).

Referências

1. Beluzzo RHL, Faltin Junior K, Lascala CE, Vianna LBR. Atresia maxilar: há diferenças entre as regiões anterior e posterior? *Dental Press J Orthod*. 2012;17:1–6.
2. Bluestone CD, Klein JO. Otitis media atelectasis and Eustachian tube dysfunction. In: Bluestone CD, Stool SE, Kenna M, editors. *Otolaryngology*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 1996. p. 388–581.
3. Maw AR, Bauden R. Facts affecting the resolution of otitis media with effusion in children. *Clin Otolaryngol*. 1994;19:125–30.
4. Dirks DD, Morgan DE. Auditory function tests. In: Bailey BJ, editor. *Head and Neck Surgery-Otolaryngology*. 2. Philadelphia: Pa: Lippincott; 1993. p. 1489–504.
5. Kilit N, Kiki A, Oktay H, Selimoglu E. Effects of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Angle Orthod*. 2008;78:409–14.
6. Fingerth AL. Orthodontic-orthopedics as related to respiration and conductive hearing loss. *J Clin Pediatr Dent*. 1991;15:83–9.
7. Amaral MI, Martins JE, Santos MF. A study on the hearing of children with non-syndromic cleft palate/lip. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2010;76:164–71.
8. Sheahan P, Blayney AW, Sheahan JN, Earley MJ. Sequelae of otitis media with effusion among children with cleft lip and/or cleft palate. *Clin Otolaryngol Allied Sci*. 2002;27:494–500.
9. Jones CE, Chapman KL, Hardin-Jones MA. Speech development of children with a cleft palate before and after palatal surgery. *Cleft Palate Craniofac J*. 2003;40:19–31.
10. Van Lierde KM, De Bodt M, Van Borsel J, Wuyts FL, Van Cauwenberge P. Effect of cleft type on overall speech intelligibility and resonance. *Folia Phoniatr Logop*. 2002;54:158–68.
11. Villafuerte-Gonzalez R, Valadez-Jimenez VM, Hernandez-Lopez X, Ysunza PA. Acoustic analysis of voice in children with cleft palate and velopharyngeal insufficiency. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2015;79:1073–6.
12. Laptok T. Conductive hearing loss and rapid maxillary expansion, Report of a case. *Am J Orthod*. 1981;80:325–31.
13. Gray LP. Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol*. 1975;89:601–14.
14. Timms DJ. Some medical aspects of the rapid maxillary expansion. *Br J Orthod*. 1974;1:127–32.
15. Ceylan I, Oktay H, Demirci M. The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Angle Orthod*. 1996;66:301–7.
16. Micheletti KR, de Mello JA, de Almeida Barreto Ramos SR, Scheibel PC, Scheibel GG, Ramos AL. Effects of rapid maxil-

- lary expansion on middle ear function: one-year follow-up. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2012;76:1184–7.
17. Fagundes NCF, Rabello NM, Maia LC, Normando D, Mello KCFR. Can rapid maxillary expansion cause auditory improvement in children and adolescents with hearing loss? A systematic review. *Angle Orthod.* 2017;87:886–96.
18. Moura CP, Andrade D, Cunha LM, Cunha MJ, Vilarinho H, Barros H, et al. Voice quality in Down syndrome children treated with rapid maxillary expansion. In: *Interspeech.* 2005: 1073–6.
19. Bilgic F, Damlar I, Surmelioglu O, Sozer OA, Tatli U. Relationship between voice function and skeletal effects of rapid maxillary expansion. *Angle Orthod.* 2018;88:202–7.
20. Yurttadur G, Basciftci FA, Ozturk K. The effects of rapid maxillary expansion on voice function. *Angle Orthod.* 2016;87:49–55.
21. Northern JL, Downs MP. *Hearing in children.* 3rd ed. Baltimore: Williams e Wilkens; 2002.
22. Munhoz LSM, Caovilla HH, Silva da GLM, Ganança MM. *Audiologia Clínica.* 1st Ed São Paulo: Ed. Atheneu; 2003.
23. Titze IR. Workshop on acoustic voice analysis: Summary statement. Iowa City, IA, US: National Centre for Voice and Speech. 1995. Available from: <http://www.ncvs.org/ncvs/info/rescol/sumstat/sumstat.pdf>; accessed 25 June 2008.
24. Boersma P, Weenink D. Praat: doing phonetics by computer (version 5.3) [Computer program]; 2 June 2016. <http://www.praat.org>.
25. Carbonell KM, Lester RA, Story BH, Lotto AJ. Discriminating simulated vocal tremor source using amplitude modulation spectra. *J Voice.* 2015;29:140–7.
26. Niedzielska G. Acoustic estimation of voice when incorrect resonance function of the nose takes place. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2005;69:1065–9.
27. Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid mid-palatal suture opening. *Am J Orthod.* 1970;58:41–66.
28. Mew JR, Meredith GW. Middle ear effusion: an orthodontic perspective. *J Laryngol Otol.* 1992;106:7–13.
29. Villano A, Grampi B, Fiorentini R, Gandini P. Correlations between rapid maxillary expansion (RME) and the auditory apparatus. *Angle Orthod.* 2006;76:752–8.
30. Isaacson JE, Vora NM. Differential diagnosis and treatment of hearing loss. *Am Fam Physician.* 2003;68:1125–32.
31. Onusko E. Tympanometry. *Am Fam Physician.* 2004;70:1713–20.
32. Moller AR. *Hearing: Its Physiology and Pathophysiology.* San Diego, Calif: Academic Press; 2000. p. 37.
33. Haughton PM. The validity of tympanometry for middle ear effusions. *Arch Otolaryngol.* 1977;103:505–13.
34. Kilic N, Oktay H, Selimoglu E, Erdem A. Effects of semi-rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133:846–51.
35. Taspinar F, Ucuncu H, Bishara SE. Rapid maxillary expansion and conductive hearing loss. *Angle Orthod.* 2003;73:669–73.
36. Heidsieck DS, Smarius BJ, Oomen KP, Breugem CC. The role of the tensor veli palatini muscle in the development of cleft palate-associated middle ear problems. *Clin Oral Investig.* 2016;20:1389–401.
37. Handzik-CuK J, Cuk V, Risavi R, Katusik D, Katusik SS. Hearing levels and age in cleft palate patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 1996;37:227–42.
38. Sheer FJ, Swarts JD, Ghadiali SN. Three-dimensional finite element analysis of Eustachian tube function under normal and pathological conditions. *Med Eng Phys.* 2012;34:605–16.
39. Carrie S, Sprigg A, Parker AJ. Skull base factors in relation to hearing impairment in cleft palate children. *Cleft Palate Craniofac J.* 2000;37:166–71.
40. Tunçbilek G, Özgür F, Belgin E. Audiologic and tympanometric findings in children with cleft lip and palate. *Cleft Palate Craniofac J.* 2003;40:304–9.
41. Campisi P, Tewfik TL, Manoukian JJ, Schloss MD, Pelland-Blais E, Sadeghi N. Computer-assisted voice analysis: establishing a pediatric database. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2002;128:156–60.
42. Stevens K, Bressmann T, Gong S-G, Tompson BD. Impact of a rapid palatal expander on speech articulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140:e67–75.
43. Wertner HF, Schreiber S, Amaro L. Analysis of the fundamental frequency, jitter, shimmer and vocal intensity in children with phonological disorders. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2005;71:582–8.
44. Behlau M, Madazio G, Feijó D, Pontes P. Avaliação da Voz. In: Behlau M (org.) *Voz – O Livro do Especialista.* Vol. I. Rio de Janeiro: Revinter. 2001;3:86–180. Cap.
45. Liberman AM. Some results of research on speech perception. *J Acoust Soc Am.* 1957;29:117–23.
46. Lewis JR, Andreassen ML, Leeper HA, Macrae DL, Thomas J. Vocal characteristics of children with cleft lip/palate and associated velopharyngeal incompetence. *J Otolaryngol.* 1993;22:113–7.
47. Kulak Kayikci ME, Akan S, Ciger S, Ozkan S. Effects of Hawley retainers on consonants and formant frequencies of vowels. *Angle Orthod.* 2012;82:14–21.
48. Flynn T, Moller C, Lohmander A, Magnusson L. Hearing and otitis media with effusion in young adults with cleft lip and palate. *Acta Otolaryngol.* 2012;132:959–66.
49. Van Lierde KM, Claeys S, De Bodt M, Van Cauwenberge P. Vocal quality characteristics in children with cleft palate: a multiparameter approach. *J Voice.* 2004;18:354–62.
50. Macari AT, Ziade G, Khandakji M, Tamim H, Hamdan AL. Effect of rapid maxillary expansion on voice. *J Voice.* 2016;30:760, e1-760.e6.