PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS Programa de Pós-graduação em Odontologia

Karine Sayure Okano

AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO POSTERIOR DA BASE DO CRÂNIO APÓS O USO DO APARELHO HERBST

Belo Horizonte 2016 Karine Sayure Okano

AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO POSTERIOR DA BASE DO CRÂNIO APÓS O USO DO APARELHO HERBST

Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração: Ortodontia.

Linha de Pesquisa: Crescimento e desenvolvimento do complexo crânio-facial. Aspectos de relevância clínica.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Quiroga Souki Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Oliveira Ruellas

Belo Horizonte 2016

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Okano, Karine Sayure O41a Avaliação tridimensional da região posterior da base do crânio após o uso do aparelho HERBST / Karine Sayure Okano. Belo Horizonte, 2016. 73 f. : il. Orientador: Bernardo Quiroga Souki Coorientador: Antônio Carlos de Oliveira Ruellas Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. 1. Craniologia. 2. Imagem tridimensional. 3. Aparelhos ativadores. 4. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 5. Má oclusão de angle classe II. 6. Tomografia computadorizada por raios x. I. Souki, Bernardo Quiroga. II. Ruellas, Antônio Carlos de Oliveira. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título. SIB PUC MINAS CDU: 616.314-089

FICHA CATALOGRÁFICA

Karine Sayure Okano

AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO POSTERIOR DA BASE DO CRÂNIO APÓS O USO DO APARELHO HERBST

Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Ortodontia.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:

- 1- Prof. Dr. Alexandre Moro UP
- 2- Prof. Dr. Dauro Douglas Oliveira PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Bernardo Quiroga Souki PUC Minas

DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 28 de outubro de 2016

A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora

Belo Horizonte, 31 de janeiro de 2017

Prof. Dr. Bernardo Quiroga Souki Orientador

Prof. Dr. Martinho Campolina Rebello Horta Coordenador do Programa de Pós-graduação em Odontologia

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo ao supremo **Deus** e **Meishu-Sama** pela proteção, luz e bênçãos concedidas.

Aos meus **pais**, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim. Vocês são os principais responsáveis por essa conquista. Nenhuma palavra conseguiria expressar a gratidão, o respeito e o amor que sinto por vocês.

Ao meu irmão **Leandro**, pelo carinho, confiança e amizade imprescindível. Obrigada por sempre estar ao meu lado.

Ao meu namorado **Danilo**, pelo amor, companheirismo e paciência. Obrigada por nunca ter questionado a minha ausência e por estar sempre buscando me fazer feliz.

Aos meus queridos amigos, Ana Luísa Giovannini, Daniella Mascarenhas, Helena Pavan, Priscilla Naback, Renata Lopes e Vítor Francesconi que sempre estiveram dispostos a me ajudar e que fizeram os meus dias mais felizes. Que a nossa amizade perdure por muito tempo.

Ao meu orientador **Bernardo Souki**, por compartilhar sua sabedoria e conhecimento admirável. Muito obrigada por dedicar grande parte do seu tempo comigo, sempre com boa vontade e disposição. Te admiro como profissional e principalmente como ser humano. É uma honra tê-lo como orientador.

Agradeço ao professor **Dauro Oliveira** por coordenar o curso com profissionalismo, seriedade e competência, objetivando sempre alcançar os melhores resultados e buscando sempre o melhor dentro de nós.

Agradeço aos meus Professores Armando Lima, Flávio Almeida, Hélio Brito, Heloísio Leite, Ildeu Andrade, José Maurício, José Eymard, Mariele Pantuzo e Tarcísio Junqueira pelos ensinamentos diários de excelência, buscando sempre a verdadeira ortodontia.

Agradeço à Paula Cheib pelos ensinamentos, apoio, paciência e companhia.

Agradeço à professora Lúcia Cevidanes, ao professor Antônio Carlos Ruellas e ao professor Tung Nguyen por contribuírem e enriquecerem meu trabalho.

Aos funcionários da PUC Minas, pela assistência, organização e limpeza, tornando os dias mais agradáveis.

E, finalmente, aos pacientes e seus familiares pela paciência e confiança no meu trabalho.

RESUMO

Aproximadamente um terço dos pacientes ortodônticos são portadores de má oclusão de Classe II divisão 1. O aparelho Herbst (AH) tem demonstrado consistente eficiência na solução da discrepância oclusal sagital e no posicionamento mandibular. Existem evidências da ação do AH no crescimento mandibular, maxilar, condilar e nas fossas mandibulares. Entretanto, há uma lacuna na literatura sobre eventuais mudanças esqueléticas da região posterior da base do crânio após o uso do AH. Historicamente, imagens bidimensionais (2D) oriundas de telerradiografias serviram de base para avaliações prospectivas dos efeitos de tratamentos e do crescimento facial. Todavia, com o aprimoramento e aumento da acessibilidade das imagens tridimensionais (3D), por meio das tomografias computadorizadas de feixes cônicos (TCFC), uma nova realidade se abriu para as avaliações prospectivas do crescimento facial. Imagens 3D permitem uma superposição volumétrica, reduzindose assim os erros sistemáticos inerentes às técnicas de imagens 2D. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar com metodologia 3D a região posterior da base do crânio de pacientes tratados com o AH. A amostra deste estudo retrospectivo foi composta de 40 adolescentes entre 12 e 16 anos de idade portadores de Classe II divisão 1 (20 no grupo aparelho Herbst – GAH, e 20 no grupo comparação – GC). Os pacientes do GAH possuíam TCFC tomadas antes do início do tratamento (T0) e ao final do tratamento com o AH (T1) e os pacientes do GC apresentavam TCFC tomadas antes do início do tratamento (T0) e após oito meses de observação (T1). Avaliações 3D das mudanças ocorridas na região posterior da base do crânio foram feitas após as superposições volumétricas de T0 e T1 em nível de voxel na fossa craniana anterior. Foram feitas medições entre pontos anatômicos de referência, medições angulares, mapas por código de cores e superposições com semitransparência. Não observou-se deslocamentos e deflexões esqueletais na região posterior da base do crânio ao longo do período de observação, comparando-se o GAH com o GC. Conclui-se que o AH não teve associação com mudanças morfológicas clinicamente significativas na região posterior da base do crânio.

Palavras-chave: Fossa craniana posterior. Base do crânio. Má oclusão de Angle Classe II. Tomografia computadorizada por raios X. Imagem tridimensional.

ABSTRACT

Approximately one third of orthodontic patients present Class II Division 1 Malocclusion. The Herbst appliance (HA) has shown consistent efficiency in solving the sagittal occlusal discrepancy and mandibular position. There is evidence of the appliance's effects in mandibular growth, mandibular position, and in the structure of the condyles and the mandibular fossa. However, there is a gap in the literature regarding skeletal changes on the posterior region of the cranial base after mandibular advancement with HA. Over the last decades, two-dimensional images (2D) originated from cephalograms were the basis for the assessment of treatment effects and facial growth. Although, with the improvement and increased accessibility of three-dimensional (3D) imaging, through cone-beam computed tomography (CBCT), a new reality was introduced for prospective evaluations of facial growth. 3D images allow a volumetric superimposition, thus reducing the systematic errors inherent to 2D imaging techniques. Thus, the objective of this study was to evaluate with 3D methodology the posterior region of the cranial base in patients treated with HA. The sample of this retrospective study was comprised of 40 adolescents between the ages of 12 and 16, with Class II Division 1 malocclusion (20 in the Herbst appliance group - HAG, and 20 in the comparison group - CG). The HAG patients had CBCT's taken before treatment (T0) and after treatment with HA (T1), and the CG patients presented CBCT's taken before treatment (T0) and after eight months of observation (T1). 3D evaluation of the changes in the posterior region of the cranial base was made after volumetric superpositions of T0 and T1 at voxel level in the anterior cranial fossa. Point-to-point measurements were made from anatomical references, angular measurements, color-coded maps and semitransparent overlays. Skeletal displacements, and deflection of the posterior region of the cranial base were detected during the observation period, when HAG and CG were compared. We conclude that AH had no association with clinically significant morphological changes in the posterior region of the cranial base.

Keywords: Posterior cranial fossa. Skull base. Malocclusion - Angle Class II. Computed tomography. Imaging three-dimensional.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AH Aparelho Herbst

DICOM Digital Imaging and Communications in Medicine (Comunicação de

imagens digitais em medicina)

- FOV Field of view
- GC Grupo comparação
- GAH Grupo aparelho Herbst
- PUC Minas Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
- TCFC Tomografia computadorizada de feixes cônicos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aparelho Herbst
Figura 2: Label maps e Modelo de superfície 3D em arquivo.vtk (Software Slicer). 33
Figura 3: Orientação das cabeças (Software Slicer)
Figura 4: Tomografias sobrepostas antes da aproximação (Software Slicer)35
Figura 5: Tomografias sobrepostas após a aproximação (Software Slicer)35
Figura 6: Registro em nível de voxels da base do crânio. Detalhe da região utilizada para a sobreposição volumétrica na fossa craniana anterior
Figura 7: Identificação dos pontos de referência (Software ITK SNAP)
Figura 8: Localização dos pontos no software Slicer para a realização das medidas
Figura 9: Movimentos rotacionais (Pitch, Roll e Yaw) na base do crânio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 O uso de imagens 3D nos estudos sobre crescimento facial em Ortod	ontia
1.2 O uso do AH para o tratamento da má oclusão de Classe II/1	19 24
2 OBJETIVOS	27
2.1 Objetivo geral	27
2.2 Objetivos específicos	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Amostra	29
3.2 Protocolo de confecção e ativação do AH	30
3.3 Aquisição de imagens	31
3.4 Análise de imagens	32
3.5 Análise estatística	40
4 ARTIGO	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	67
ANEXO B - Aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa da PUC Minas	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 O uso de imagens 3D nos estudos sobre crescimento facial em Ortodontia

Historicamente, o estudo do crescimento facial na Ortodontia se baseou no uso de estruturas anatômicas de referência na base craniana. Como nas últimas décadas o uso da telerradiografia em norma lateral foi muito intenso, imagens 2D oriundas destas radiografias serviram de base para estas avaliações longitudinais. Diversos planos e pontos de referência já foram sugeridos para as sobreposições cefalométricas, sendo que pesquisadores clássicos como Björk (BJÖRK, 1969), Steiner (STEINER, 1953), Ricketts (RICKETTS, 1981), Broadbend (BROADBEND, 1981) e Johnston (JOHNSTON, 1996) utilizaram em seus trabalhos estruturas na base do crânio para realizar as sobreposições e, posteriormente, avaliações de remodelação e/ou deslocamento das estruturas esqueléticas (ARAT; RÜBENDÜZ; AKGÜL, 2003). Segundo Enlow, de todos os planos existentes, a linha S-Na (Sela-Násio), com referência em S, é o plano mais utilizado (ENLOW, 1993). A sobreposição em S-Na é valida e intuitiva, pois permite a visualização do deslocamento facial geralmente para baixo e para frente em relação à base do crânio. Todavia, sabe-se que a base do crânio não é uma região totalmente estável e imutável. Ela continua crescendo e sofrendo remodelações durante toda a infância. A sela turca, que é a estrutura relacionada para a identificação do ponto "S" sofre mudanças durante todo o período de crescimento. Enlow (1993) postulou que essa mudança não invalida o uso da sela turca para ser a principal referência da base do crânio, desde que suas variações sejam levadas em consideração.

Os estudos cefalométricos de crescimento requerem a determinação de pontos realmente fixos, facilmente visualizados sobre o filme e que apresentem exatidão suficiente que os tornem naturalmente valiosos para medições, comparações ou superposições (DE COSTER, 1953). Segundo Björk, deve-se considerar a coincidência mais próxima de um número máximo de estruturas da base craniana anterior (BJÖRK, 1968).

A sincondrose esfenoetmoidal é a estrutura de crescimento mais ativa em relação a base do cranio até aproximadamente os 7 anos de idade, quando ossifica e se fecha completamente (GRABER; VANARSDALL; VIG, 2012). Uma vez que ocorre essa transição, o crescimento da região anterior da base do crânio está

essencialmente completo na primeira infância, sendo assim utilizada como referência estável para superposição, principalmente em pacientes em crescimento (CEVIDANES et al., 2009; GRABER; VANARSDALL; VIG, 2012). Já a região posterior da base do crânio tem o seu comprimento aumentando, principalmente, em razão das mudanças na sincondrose esfeno-occipital. A época da fusão completa dessa sincondrose é bastante variada. Melsen afirmou que a fusão ocorre por volta dos 16-17 anos nas mulheres e aproximadamente aos 18-19 anos nos homens (MELSEN, 1974). Powell e Brodie concluíram que em geral o fechamento da sincondrose esfeno-occipital acontece entre 13 e 16 anos nos homens e 11 e 14 nas mulheres (POWELL; BRODIE, 1963). Todavia, outros autores acreditam que esta sincondrose continua crescendo até 20 a 25 anos de idade (FORD, 1958). Em um estudo recente utilizando imagens tridimensionais, Sinanoglu et. al. (2016) mostraram que a média de idade para a fusão completa da sincondrose foi de 18 e 20 anos para mulheres e homens, respectivamente.

A sincondrose esfeno-occipital é um importante centro de crescimento, estando diretamente relacionada com o crescimento antero-posterior da base do crânio. O crescimento antero-posterior só terminará quando ocorrer a fusão da sincondrose esfeno-occipital. Wai et. al. (2008), mostraram em um estudo histológico com ratos que, estimulação mecânica, ou seja, força de tração aplicada à sincondrose esfeno-occipital, pode induzir e potencializar o crescimento da base do crânio. Sendo assim, a utilização da base craniana completa (anterior e posterior), para superposição de imagens em pacientes em crescimento pode ser questionada, já que mudanças na parte posterior do crânio pode ocorrer devido fatores intrínsecos e extrínsecos na sincondrose-esfeno occipital.

A partir da sobreposição de imagens na base do crânio normalmente observase um deslocamento para baixo e para frente de toda a face, mostrando um resultado combinado de remodelação (deposição e reabsorção) e deslocamento (primário e secundário). Porém a sobreposição não distingue os efeitos de remodelação e deslocamento (ENLOW, 1993).

Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico, imagens tridimensionais (3D) estão sendo mais utilizadas na Ortodontia. Sua aplicação já foi testada e mostrou-se válida para avaliação de pacientes em crescimento, usando uma sobreposição na base craniana anterior. Esta possibilidade abriu um campo clínico extraordinário para um *follow-up* 3D do crescimento e desenvolvimento craniofacial

dos pacientes, proporcionando ampla análise quantitativa e visual (CEVIDANES; STYNER; PROFFIT, 2006, MOTTA et al., 2010). Alguns estudos clínicos longitudinais têm sido feitos utilizando a técnica de modelagem virtual 3D (HEYMANN et al., 2010; LeCORNU et al., 2013).

Com esse desenvolvimento, remove-se alguns fatores limitantes presentes na Ortodontia 2D como, por exemplo, a dificuldade na localização dos pontos de referências nas telerradiografias, pela sobreposição de múltiplas estruturas (CEVIDANES et al., 2010), a ampliação e distorção da imagem, e erros de posicionamento dos pacientes durante o exame radiográfico (LeCORNU et al., 2013).

Além das imagens 3D serem utilizadas na avaliação de crescimento, outras aplicações de imagens 3D em Ortodontia também são aceitas, tais como: 1) diagnóstico inicial; 2) reavaliações de planos de tratamento; 3) avaliação da estabilidade de tratamentos; 4) avaliação da inclinação e angulação da raiz dentária; 5) avaliação das impacções dentárias e da presença de dentes supranumerários; 6) avaliação da espessura e morfologia do osso em locais de inserção de miniimplantes para ancoragem ortodôntica, e 7) planejamento orto-cirúrgico. Outras aplicações incluem o diagnóstico de reabsorção radicular, o crescimento ósseo hiperplásico, anomalias de forma dos côndilos mandibulares, e assimetrias morfológicas condilares. Adicionalmente, pode-se avaliar as relações de tecidos moles e das vias aéreas em 3D (CEVIDANES; STYNER; PROFFIT, 2006).

Reconstruções 2D, em diversos cortes ortogonais a partir das TCFC permitem a criação de radiografias panorâmicas, telerradiografia, e radiografias PA, que podem ser comparados com bancos de dados radiográficos convencionais preexistentes (CEVIDANES; STYNER; PROFFIT, 2006). Todavia, a riqueza de informações fornecidas pela real avaliação 3D não pode ser comparada à limitada oferta dada pelo 2D, mesmo que feita nos cortes multiplanares. A criação de modelos virtuais 3D de superfície, com a modelagem volumétrica, apesar de ainda pouco utilizada nos estudos científicos, tem enorme potencial de clarificar lacunas até hoje inexploradas.

Alguns métodos de sobreposições em imagens 3D são totalmente automatizados, não dependendo da ação manual do operador e a difícil localização de estruturas anatômicas de referência, o que sob a ótica científica é um grande bônus. Nas avaliações volumétricas 3D não são utilizados pontos de referência ou planos, mas sim a superposição nas regiões de referência de estabilidade, como por exemplo na fossa craniana anterior. Além disto, o ajuste fino final, em nível de voxel, pela identificação e pareamento dos voxels na escala de cinza de ambas as estruturas tridimensionais, garante uma isenção do viés do observador no processo analítico (CEVIDANES; STYNER; PROFFIT, 2006; MOTTA et al., 2010; CEVIDANES et al., 2011). As superposições de imagens consecutivas e prospectivas de um mesmo indivíduo em 3D, permitem um registro volumétrico, evitando-se assim os erros sistemáticos inerentes às técnicas 2D, onde devido à sobreposição de múltiplas estruturas, é inevitável a inclusão de viéses técnicos (CEVIDADES et al., 2009; CEVIDADES et al., 2011).

A partir das superposições em imagens 3D é possível calcular os parâmetros de rotação e translação das estruturas faciais, ao longo de dois tempos de observação, podendo assim medir as distâncias entre as superfícies dos modelos (CEVIDANES; STYNER; PROFFIT, 2006; CEVIDANES et al., 2011). A avaliação das direções de deslocamento ou crescimento pode ser feito visualmente por meio de mapas por códigos de cor, associados à semi-transparências dos modelos sobrepostos (MOTTA et al., 2010).

Motta et al. (2010) discutiram que uma das limitações da superposição em modelos virtuais 3D é que o método ainda reside no simples fato de que a sobreposição requer estruturas de referência estáveis, como a base do crânio. Por exemplo, ao avaliar mudanças na mandíbula, a superposição na base do crânio mostraria apenas os deslocamentos esqueléticos e dentários. Mas para uma visualização precisa do crescimento regional mandibular, faz-se necessário um registro na sínfise mentoniana.

A comparação de modelos virtuais 3D de indivíduos tratados ortodonticamente e de indivíduos não tratados (controles), usando sobreposições volumétricas, tem o potencial para avaliar os deslocamentos do osso (mudança de posição) e de remodelação (alteração no tamanho e forma) dos tecidos moles-esqueléticos e componentes faciais em relação à base do crânio. Esta avaliação pode melhorar as nossas interpretações do *feedback* dinâmico entre os efeitos do crescimento e os efeitos do tratamento.

Motta et al. (2010) mostraram uma diferença no resultado encontrado em superposições de imagens 3D em relação à pacientes com crescimento e sem crescimento. Em seu trabalho, para pacientes nos quais o crescimento da base do

crânio está completo, o registro foi feito usando os conjuntos de dados de nível de cinza em toda a superfície da base do crânio. Quanto maior a superfície utilizada, melhor será o registro. Por este motivo, para os pacientes adultos toda a superfície da base do crânio é utilizada para o registro. Mas, em relação aos pacientes em crescimento, o registro para superposição requer duas etapas. Em primeiro lugar, um alinhamento inicial da cabeça (aproximação) é feito de maneira manual, não automatizada, utilizando toda a base do crânio, e, em seguida, um registro mais fino realizado por um *software* é feito sobre a fossa craniana anterior.

O registro antes e depois do tratamento em indivíduos submetidos aos exames tomográficos em crescimento deve se restringir à fossa craniana anterior, pois ainda há presença de crescimento na sincondrose esfeno-occipital, da parede lateral do crânio, bem como dos lobos e seios frontais (CEVIDADES et al., 2009).

Duas grandes vantagens podem ser destacadas para o método de superposição volumétrica: 1) modo automatizado de sobreposição da base do crânio, evitando erros associados à identificação de pontos ou desenho estrutural realizado pelo operador, o que representa um significativo controle de polarização de uma abordagem científica; 2) uso 3D de estruturas anatômicas com tamanho e forma reais, ao invés de imagens sobrepostas projetadas. A comparação de superfícies tridimensionais, em vez de pontos e linhas cefalométricas pode implicar em resultados mais confiáveis e mais detalhados. Em contra partida, é importante considerar fatores como a simplicidade e facilidade de trabalhar com imagens convencionais 2D (MOTTA et al., 2010).

Apesar da grande velocidade do desenvolvimento tecnológico, o emprego da superposição de modelos de imagens 3D ainda é inviável para o dia-a-dia clínico, por ser um método ainda muito trabalhoso e consumidor de tempo (CEVIDANES et al., 2011).

Outro aspecto que merece destaque é a intensa preocupação no aumento do número de exames de tomografia computadorizada, e consequentemente no aumento dos riscos de câncer nos EUA, especialmente em crianças que realizam esse exame (PAUWELS et al., 2014). É verdade que a tomografia computadorizada de uso ortodôntico é uma técnica de baixa dose de radiação em comparação com tomografias médicas convencionais. Mas, até que tenhamos provas de que nossos pacientes não estão em risco, devemos considerar que qualquer exame radiográfico

envolve um pequeno, mas real, risco para os nossos pacientes (CEVIDANES et al., 2011).

1.2 O uso do AH para o tratamento da má oclusão de Classe II/1

O tratamento das más oclusões de Classe II/1 é um desafio comum para Odontologia em todo o mundo. A prevalência da Classe II/1 em crianças brasileiras entre 6 e 10 anos é de 18,4% (BITTENCOURT; MACHADO, 2010). Retrognatismo mandibular é o fator etiológico primário na maioria desses pacientes (McNAMARA Jr., 1981).

Aparelhos funcionais têm demonstrado ser eficazes na correção da Classe II/1, diminuindo a sobressaliência e alcançando uma relação de Classe I de caninos e de molares. Muitos estudos têm relatado melhorias ântero-posteriores na projeção mandibular quando utilizados aparelhos funcionais fixos, como o aparelho Herbst (AH) (FRANCHI, 1999; PANCHERZ, 1982; BACETTI; FRANCHI; STAHL, 2009; YANG, 2016).

O AH foi desenvolvido por Emil Herbst em 1909 e posteriormente foi reintroduzido por Hans Pancherz na década de 1970, chamando a atenção para as possibilidades de estimular o crescimento do côndilo mandibular (PANCHERZ; ZIEBER; HOYER, 1997; FRANCHI; BACCETTI; McNAMARA Jr., 1999; VanLAECKEN et al., 2006). Sua eficiência no tratamento e a boa aceitação do paciente tornou o AH, o aparelho funcional mais utilizado nos Estados Unidos para correção de Classe II/1 esquelética (KEIM et al., 2014)

Em contraste com os aparelhos removíveis, o AH apresenta como vantagem o funcionamento constante, não havendo a necessidade de cooperação por parte do paciente. Adicionalmente, o tempo de tratamento é de curta duração (cerca de 6 a 8 meses) (PANCHERZ; 1985; SCHAEFER et al., 2004).

O AH possui um sistema telescópico que produz uma força direcionada posteriormente sobre os dentes posteriores superiores e uma força direcionada anteriormente sobre os dentes inferiores anteriores. Estas forças produzem movimentos distais nos dentes superiores posteriores e movimentos dentários mesiais dos incisivos inferiores (FRANCHI; BACCETTI; McNAMARA Jr., 1999; SILVA FILHO; AIELLO; FONTES, 2005). É, portanto, um aparelho de ancoragem intermaxilar recíproca, objetivando estimular o crescimento mandibular no tratamento da má oclusão de Classe II/1. É importante estar atento à movimentos indesejáveis e controlá-los quando necessário (PANCHERZ, 2003).

Esse aparelho funcional é especialmente indicado na dentadura permanente ou logo após o pico de crescimento puberal (HÄGG; PANCHERZ, 1988). Na fase de dentadura mista o tratamento geralmente não é recomendado, pois com a falta de adequada intercuspidação, as recidivas são propensas a aparecerem (PANCHERZ; ZIEBER; HOYER, 1997). Em pacientes aonde o crescimento facial já se esgotou, o aparelho deve ser usado com grande cautela. Nestes indivíduos mais velhos, alterações esqueléticas serão mínimas e os efeitos do tratamento serão apenas dentoalveolares (PANCHERZ, 2003).

Algumas complicações clínicas podem existir durante o tratamento com o AH. Dependendo dos modelos do aparelho (*cantilever, splint* inferior de acrílico ou metálico), diferentes complicações são mais comumente relatadas. Alguns estudos (SCHIÖTH et al., 2007; MORO et. al., 2011; SILVA et al., 2015) compararam as taxas de complicação com os diferentes tipos de aparelho. Algumas complicações encontradas são: afrouxamento do parafuso, deslocamento da coroa metálica, distorção do pistão, fratura da coroa metálica, lesões no tecido mole e quebras no aparelho (*splint*, pivô, arco transpalatino). As forças geradas pelo telescópio durante o tratamento provavelmente são os responsável não só pelo efeito ortopédico desejado, mas também para muitas complicações com o aparelho (MORO et al., 2011).

Como regra geral, uma má oclusão de Classe II/1 não pode ser tratada exclusivamente com o AH. Na maioria dos casos será exigida uma fase posterior ao tratamento ortopédico com o alinhamento e intercuspidação dentária feita com um aparelho fixo. Uma fase anterior ao tratamento com o AH também pode ser necessária utilizando aparelho fixo (PANCHERZ; ZIEBER; HOYER, 1997; PANCHERZ, 2003), buscando as descompensações dentárias que permitirão o avanço mandibular adequado.

Muito se tem estudado sobre os efeitos do AH. Existem vários estudos mostrando mudanças que ocorrem na mandíbula, maxila, côndilo e fossa mandibular. Entretanto, existe uma enorme lacuna na literatura sobre eventuais mudanças da base do crânio (fossa craniana posterior). Especula-se que com o avanço mandibular forçado pelo AH, toda a estrutura de suporte, como por exemplo, cápsula articular e ligamentos da fossa mandibular é tracionado em direção anterior

e inferior. Sendo assim, é teoricamente plausível hipotetizar que mudanças dimensionais ou espaciais na região posterior da base do crânio possam estar associadas, uma vez que existe próxima relação anatômica entre as fossas mandibulares e a região posterior da base do crânio. Além disso, se a força provocada pelo AH provocar uma tensão na sincondrose esfeno-occipital poderá potencializar o crescimento da base do crânio, pois a sincondrose também é estimulada por fatores extrínsecos. Até este momento, com os métodos cefalométricos 2D a verificação de hipótese era muito difícil. Todavia, com o aprimoramento e aumento da acessibilidade das imagens 3D, é possível superpor imagens tomográficas adquiridas em tempos distintos, por meio de registro volumétrico apenas na fossa craniana anterior, eliminando assim, erros sistemáticos inerentes às técnicas 2D.

LeCornu et al. (2013) apresentaram as alterações esqueléticas em 3D em indivíduos com má oclusão de Classe II tratados com o AH e compararam essas mudanças com o grupo controle tratados com elástico de Classe II. Os pacientes tratados com o AH demonstraram restrição maxilar e deslocamento anterior dos côndilos e das fossas glenóide quando comparado com o grupo controle podendo assim resultar um posicionamento mais anterior da mandíbula. Nesse estudo não foi observado diferença significativa no corpo mandibular, flexão da cabeça da mandíbula, crescimento do ramo mandibular ou mudanças no ângulo goníaco. Apesar de ter sido um estudo que relatou amplamente o efeito esquelético do AH, nada foi descrito a respeito de mudanças que podem ocorrer na base do crânio.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a hipótese nula de que as mudanças na região posterior da base do crânio de pacientes portadores de má oclusão de Classe II/1 em fase puberal tratados como AH são semelhantes às mudanças em indivíduos com o mesmo padrão oclusal que não foram tratados com o AH.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as mudanças morfológicas e posicionais da região posterior da base do crânio após o uso do AH, comparativamente a pacientes que não foram tratados com ortopedia funcional.

2.2 Objetivos específicos

- avaliar se os pacientes que fizeram uso do AH apresentam deflexão da região posterior da base do crânio, decorridos oito meses da instalação.
- b) avaliar quantitativamente eventuais alterações morfológicas que ocorrem na região posterior da base do crânio após o uso do AH;
- c) quantificar em graus as mudanças da região posterior da base do crânio após oito meses de uso do AH;
- d) avaliar visualmente se a região posterior da base do crânio sofre mudanças 3D após 8 meses de tratamento com o AH.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostra

A aprovação para a realização deste estudo foi dada pelo Comitê de Ética e pesquisa em humanos da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerias sob o número 21534013.8.5137.

A partir do banco de dados dos prontuários de documentação ortodôntica dos pacientes tratados no Programa de Pós-graduação em Ortodontia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Belo Horizonte, Brasil), selecionou-se a amostra de pacientes para esta avaliação retrospectiva. Com base nos dados coletados em 10 casos aleatoriamente avaliados deste banco de dados, o tamanho ideal da amostra (n=20 indivíduos para cada grupo) foi calculado tendo em conta um desvio padrão de 0,325mm (desfecho primário da investigação; um nível alfa de significância de 0,05; e um beta de 0,2 para atingir o poder de 80% para detectar mudanças morfológicas na região posterior da base do crânio com um erro máximo aceitável de 0,3mm e de 0,5 graus. Arbitrou-se o erro máximo de 0,3mm por ser este o tamanho do voxel das TCFC, e 0,5 graus por estar este dentro da margem de erro clássico descrito para mensurações cefalométricas. Assim, a amostra deste estudo consistiu de 40 adolescentes entre 12 e 16 anos de idade com má oclusão de Classe II divisão 1 (20 no grupo aparelho Herbst – GAH, e 20 no grupo comparação - GC). O grupo comparação foi composto de pacientes que tinham indicação de receber terapia com o AH, porém necessitaram primeiramente de outras ações odontológicas, descompensações dentárias como com aparelhos fixos. tracionamento de caninos impactados, ou marsupialização de cisto dentígero.

No início do estudo (T0), todos os pacientes tinham entre 12 e 16 anos de idade, apresentavam má oclusão de Classe II/1 esquelética (ANB ≥ 4°), tinham o perfil convexo, estavam na fase de dentadura permanente, e uma retrusão mandibular clinicamente diagnosticada, segundo critérios previamente descritos na literatura (MARTINA et al., 2013). A sobressaliência apresentada pelos pacientes permitia a ativação do aparelho até obter a correção da discrepância sagital. No entanto, a quantidade de ativação sagital e vertical era variada entre os pacientes. Todos os pacientes estavam com potencial de crescimento ativo de acordo com o método de avaliação da maturação das vértebras cervicais (CS2-CS4) (HASSEL;

FARMAN, 1995), e tinham indicação de tratamento ortodôntico. Foram excluídos do estudo indivíduos portadores de síndromes, fissuras, deformidades dentofaciais, portadores de disfunção temporomandibular, indivíduos que foram submetidos à tratamento ortodôntico prévio onde foi utilizado aparelhos funcionais (Aparelho Extra Bucal e/ou ativadores mandibulares), e indivíduos que não concordaram com o termo de consentimento livre e esclarecido.

3.2 Protocolo de confecção e ativação do AH

Após o uso de elásticos de separação por um período de sete dias, iniciou-se a confecção do AH com a escolha das bandas ortodônticas (Grip Tite - TP Orthodontics, La Porte, EUA). A adaptação foi realizada de forma convencional nos primeiros molares permanentes superiores e inferiores, dentes que serviram de ancoragem para o aparelho. Em seguida as arcadas foram moldadas, as bandas transferidas para a moldagem e após o vazamento do gesso os modelos foram obtidos. Uma mordida construtiva foi confeccionada a partir de um reposicionamento anterior da mandíbula até a obtenção de uma mordida em relação de Classe I de Angle. O AH foi então confeccionado por um mesmo laboratório.

O sistema de telescópios do AH foi da marca Abzil (São José do Rio Preto, São Paulo). Na arcada maxilar foi instalado um aparelho expansor tipo Hyrax da marca Morelli (Sorocaba, São Paulo) e na arcada mandibular foi feita a instalação de um arco lingual de Nance com fio de aço 1,0mm para oferecer maior resistência e estabilidade ao sistema, além de evitar o abaixamento do cantiléver. Um fio 0,7mm de aço na oclusal dos 4 segundos molares foi acoplado ao sistema para evitar a extrusão desses dentes. A cimentação dos anéis foi feita com cimento resinoso dual da marca 3M (Campinas, São Paulo) (Fig. 1). O expansor maxilar foi ativado somente em casos que houve necessidade de correção transversal, sendo realizado antes da ativação sagital com os telescópios. Arco lingual inferior de 1,0mm de diâmetro em aço inoxidável foi adicionado ao desenho do AH com o objetivo de melhorar a estabilidade.

A ativação sagital ocorreu, em todos os casos, em tempo único, objetivando obter a melhor relação possível de Classe I de caninos, pré-molares e molares, e não levando em consideração a eliminação total do trespasse horizontal. Aqueles pacientes que apresentaram interferências no movimento protrusivo e retroinclinação de incisivos superiores, foram submetidos à alinhamento dentário com aparelho fixo 2x4 antes da inserção do AH para permitir, dessa maneira, a ativação em tempo único, sendo alocados para o GC.

Figura 1: Aparelho Herbst



Fonte: Imagem obtida do arquivo do Curso de Mestrado Profissional em Ortodontia da PUC Minas

3.3 Aquisição de imagens

No GAH, TCFC foram realizadas antes da colocação do aparelho (T0) e ao final de 8 meses da terapia com o AH (T1). No GC, TCFC foram realizadas no início do estudo (T0) e aproximadamente após 8 meses (T1). Para a realização dos exames, utilizou-se o tomógrafo i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, Estados Unidos) com FOV de 16cm x 22cm de vista, voxel de 0,3 x 0,3 x 0,3mm, 36.90mA, 120kV e tempo de exposição de 40 segundos. Todos os pacientes foram instruídos a morder em máxima intercuspidação habitual durante a captura da imagem.

3.4 Análise de imagens

A partir das TCFC, modelos virtuais tridimensionais foram obtidos para a mensuração das mudanças entre T0 e T1. O processamento das TCFC e dos modelos virtuais foi feito através dos *softwares* gratuitos ITK-SNAP versão 2.2 (www.itksnap.org) (SIMMROSS-WATTENBERG et al., 2005) e 3D Slicer versão CMF 3.0 (www.slicer.org) (YUSHKEVICH et al., 2006).

As tomografias foram submetidas a uma série de processamentos para uma análise 3D que incluíram cinco etapas: a) construção de modelos virtuais de superfície 3D das cabeças; b) orientação das cabeças no mesmo sistema de coordenadas cartesianas; c) aproximação manual e posterior registro volumétrico automatizado das tomografias e dos *label maps*, baseando-se em tons de cinza dos voxels (superposição 3D) da fossa craniana anterior; d) identificação dos pontos de referência (*landmarks*); e e) mensurações quantitativas e análises visuais, utilizando medidas ponto-a-ponto e superposições por semi-transparência de modelos virtuais 3D. Estão descritos abaixo as cinco etapas:

 a) Construção de modelos virtuais de superfície 3D das cabeças – Inicialmente, arquivos DICOM foram transformados em gipl.gz pois o software utilizado para realizar a segmentação (ITK-SNAP) só aceita essa extensão. Posteriormente, label maps foram construídos utilizando um método automatizado de segmentação pela ferramenta *Intensity* Segmenter no SlicerCMF. Ajustes e recortes dos *label maps* foram feitos no ITK-SNAP 2.2. Modelos de superfície 3D em arquivos ".vtk" foram então construídos usando a ferramenta *Model maker* do SlicerCMF (Fig. 2).

Figura 2: *Label maps* e modelo de superfície 3D em arquivo.vtk (Software Slicer).



Fonte: Elaborada pela autora.

b) Orientação das cabeças no mesmo sistema de coordenadas cartesianas – Para comparar os dados longitudinais no mesmo sistema de coordenadas, os modelos de superfície virtuais foram espacialmente posicionados usando planos de referência padronizados para cada paciente: o plano axial foi posicionado sobre a parte superior do Pórion dos lados direito e esquerdo, assim como a parte inferior das órbitas direita e esquerda, ou os seus pontos médios; o plano sagital foi posicionado sobre o centro da crista galli e sobre o ponto médio da curvatura anterior do forame magno; e o plano coronal tangenciou o limite posterior do tubérculo anterior da sela (Fig. 3). Todos os modelos T0 e T1, tanto do GAH e quanto do GC foram orientados nesses planos de referência padronizados.



Figura 3: Orientação das cabeças (Software Slicer).

Fonte: Elaborada pela autora.

Aproximação manual e posterior registro volumétrico automatizado c) das tomografias e dos label maps - A sobreposição 3D consiste em dois passos (Slicer): a) aproximação manual dos scans e b) registo volumétrico automatizado. As TCFC em T1 foram manualmente aproximadas (best-fit) em relação à TCFC em T0 nas vistas sagital, axial e coronal (Figs. 4 e 5). Os scans T0 e T1 foram aproximados tendo como referência a fossa anterior do crânio. A "máscara" da fossa craniana anterior de T1 foi gerada, especificamente nas superfícies endocranianas da região da lâmina cribiforme do osso etmóide e na superfície interna do osso frontal. Estas regiões foram escolhidas devido à sua precoce finalização de crescimento. A máscara de T1 determina para o software Slicer qual a região de voxel em escalas de cinza de T0 que será usada para o registro volumétrico. O software fornece um registro totalmente automatizado baseado em voxel (translação e rotação) que alinha com precisão as TCFC T0 e T1 através dos tons de cinza de cada voxel (Fig. 6). Consegue-se assim um ajuste fino na superposição das TCFC, já

anteriormente iniciada pela aproximação manual. Evita-se com o registro automático os erros inerentes às limitações humanas como operador.



Figura 4: Tomografias sobrepostas antes da aproximação (Software Slicer).

Fonte: Elaborada pela autora.





Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 6: Registro em nível de voxels da base do crânio. Detalhe da região utilizada para a superposição volumétrica na fossa craniana anterior.



Fonte: Elaborada pela autora.

d) Identificação dos pontos de referência (landmarks) – Pontos de referência (landmarks) foram colocados na cor vermelha (Fig. 7). No corte sagital, foram identificados os seguintes pontos: S1 (Assoalho da sela túrca), S2 (Parede posterior da sela túrca), S3 (Parte superior do processo clinóide posterior), SC1 (Parte inferior da sincondrose esfeno-occiptal), SC2 (Ponto médio da sincodrose esfeno-occiptal), SC3 (Parte superior da sincondrose esfenoocciptal), CS4 (Básio), V1 (Arco anterior do Átlas), V2 (Odontóide), FA1 (Parte inferior da fossa mandibular – lado esquerdo) e FA2 (Parte inferior da fossa mandibular – lado direito). Em um corte coronal, foram identificados os pontos P1 (Parte mais inferior do processo estilóide – lado esquerdo) e P2 (Parte mais inferior do processo estilóide direito).



Figura 7: Identificação dos pontos de referência (Software ITK SNAP)

Fonte: Elaborada pela autora.

- e) Mensurações quantitativas e análises visuais, utilizando medidas ponto-a-ponto e superposições por semi-transparência de modelos virtuais 3D A avaliação quantitativa das mudanças morfológicas da região posterior da base do crânio foi realizada através da medição das mudanças das distâncias ponto-a-ponto. Avaliações visuais das mudanças morfológicas da região posterior da base do crânio foram feitas utilizando a técnica de superposição com semi-transparência e mapas por códigos de cor pelo método de *closest-point* dos modelos virtuais T0 e T1 por meio do *software* Slicer.
 - Medições quantitativas do deslocamento da região posterior da base do crânio em relação à fossa craniana anterior - A avaliação do deslocamento da região posterior da base do crânio foi realizada pela diferença de posicionamento espacial dos modelos T0 e T1 registados na base do crânio anterior, utilizando-se a ferramenta Q3DC no Slicer CMF. Treze pontos de referência esquelética foram identificados na base do crânio posterior (Fig. 8): S1 (Assoalho da sela túrca), S2 (Parede posterior da sela túrca), S3 (Parte superior do

processo clínoide posterior), SC1 (Parte inferior da sincondrose esfenoocciptal), SC2 (Ponto médio da sincodrose esfeno-occiptal), SC3 (Parte superior da sincondrose esfeno-occiptal), CS4 (Básio), V1 (Parte superior do arco anterior do osso Átlas), V2 (Parte superior do osso Odontóide), P1 (Parte inferior do processo estilóide - lado esquerdo), P2 (Parte inferior do processo estilóide - lado direito), FA1 (Parte inferior da fossa glenóide – lado esquerdo) e FA2 (Parte inferior da fossa glenóide - lado direito). Em alguns pacientes a sincondrose esfeno-occipital estavam abertas. Nesses pacientes, os pontos de referência foram identificados no osso occipital. A projeção linear multiplanar 2D do deslocamento maxilar entre T0 e T1, decomposta em coordenadas cartesianas (X, Y, Z) de S1, S2,S3, SC3, SC4, V1, V2, FA1, FA2 foram usadas para avaliar as mudanças associadas ao uso do AH. A projeção do deslocamento linear 2D posterior-anterior (ΔY) e inferior-superior (ΔZ) 2D de T0 para T1 foram medidos no plano sagital (YZ) e a projeção do deslocamento linear 2D medial-lateral (ΔX) foi medido no plano axial (XY). A rotação da região posterior da base do crânio também foi mensurada nos três planos do espaço e, em ortodontia, elas são chamadas de pitch, roll e yaw (ACKERMAN et al., 2007) (Fig. 9). O pitch foi medido como as mudanças no ângulo formado pelas linhas S1-SC4, S1-V1 e S1-V2 e o plano cartesiano entre T1 e T0 em uma perspectiva sagital. O roll foi mensurado como as mudanças angulares formados pelas linhas P1-P2 e FA1-FA2 numa perspectiva coronal. O yaw foi mensurado como as mudanças angulares formado pelas linhas S1-V1, S1-V2, P1-P2 e FA1-FA2 numa perspectiva axial. Valores negativos indicaram deslocamento para baixo, para direita, para trás e rotação no sentido anti-horário, enquanto que valores positivos indicaram deslocamento para cima, para esquerda, para frente e rotação no sentido horário.

Figura 8: Localização dos pontos no software Slicer para a realização das medidas



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 9: Movimentos rotacionais (Pitch, Roll e Yaw) na base do crânio.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.5 Análise estatística

A análise dos dados obtidos foi realizada por meio do aplicativo SPSS (versão 20.0; SPSS, Chicago, IL). Primeiramente, realizados o teste da concordância intra e inter-observador, sendo que os ICCs mostraram ser superior a 80%, e, portanto, satisfatórios. Avaliação do erro sistemático e erro aleatório foram realizados pelo teste t pareado e fórmula de Dahlberg, respectivamente. Os pressupostos de normalidade e de mesma variância não foram atendidos. Sendo assim, foi rodada uma estatística não paramétrica com o teste de Mann-Whitney para comparação da associação entre os GAH e GC.

4 ARTIGO

Three-dimensional assessment of the posterior region of the cranial base following Herbst appliance treatment

Artigo preparado dentro das normas do periódico Angle Orthodontist (Qualis A2).

Normas para submissão de artigos podem ser visualizadas no endereço eletrônico: http://www.angle.org/page/submit.

Three-dimensional assessment of the posterior region of the cranial base following Herbst appliance treatment

Karine Sayure Okano^a; Lucia Helena Soares Cevidanes^b; Paula Loureiro Cheib^c; Antonio Carlos de Oliveira Ruellas^d; Tung Nguyen^e; Bernardo Quiroga Souki^f

^a Resident, Graduate Program in Orthodontics, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

^b Assistant Professor, Departament of Orthodontics and Pediatric Dentistry, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.

^c PhD student, Graduate Program in Orthodontics, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

^d Associated Professor, Departament of Orthodontics, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

^e Assistent Professor, Departament of Orthodontics, School of Dentistry. University of North Carolina, Chapel Hill, NC.

^f Associate Professor, Departament of Orthodontics, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

Corresponding author:

Bernardo Quiroga Souki Avenida Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico Belo Horizonte – MG – Brazil CEP 30535-901 Telephone: +55 31 3319-4414 E-mail: souki.bhe@terra.com.br

SUMMARY

Objective: Three-dimensional retrospective assessment of the posterior region of the cranial base of patients treated with Herbst appliance (HA). Materials and Methods: Before treatment (T0) and after 8 months of HA treatment (T1), surface virtual models of 40 Class II/1 malocclusion patients, generated from cone-beam computed tomography (CBCT) were evaluated. T0 and T1 models were volumetrically superimposed at the anterior cranial fossa. Twenty subjects had been treated with the HA (HAG), and 20 served as a comparison group (CG). CG individuals had not received any orthopedic functional force, but only other dental treatments. Point-to-point linear objective measurements between anatomical landmarks, and the assessment of rotational changes in the posterior cranial base region were made using the Q3DC tool in 3D Slicer software. Color-maps and semi-transparent overlays provided visual analysis of the spatial behavior of the posterior cranial base relative to the anterior cranial fossa. As normality and homoscedasticity were not found, non-parametric tests were performed in order to compare the association between HAG and CG. Results: Point-topoint linear measurements and skeletal rotation (pitch, roll, and yaw) did not present statistically significant differences between HAG and CG (P>0.05). Visual analysis of colormapping and overlays confirmed that no changes of the posterior region of the cranial base were associated with HA. Conclusion: No positional or morphological changes in the posterior region of the cranial base was associated with the use of HA.

KEY WORDS: Posterior cranial fossa; Skull base; Malocclusion - Angle Class II; Computed tomography; Imaging three-dimensional

INTRODUCTION

Class II malocclusion is highly prevalent worldwide,^{1,2} and mandibular deficiency is the main etiological factor among these individuals.^{3,4} Whereas the treatment of facial skeletal dysplasia is a common challenge for dentistry worldwide, therapies that can enhance the dentofacial orthopedic effect and stimulate mandible growth are indicated in patients with deficiency in the sagittal position of the mandible. Various types of functional orthopedic devices have been advised for the treatment of such poor occlusion,^{5,6} since the Herbst appliance (HA) has consistently proved effectiveness in solving the sagittal occlusion discrepancy and positioning mandibular.^{7,8}

HA was introduced by Emil Herbst in 1909 and it was later reintroduced by Hans Pancherz⁹ in the 1970s. Its efficiency in the treatment of Class II malocclusion, together with the feature of low patient compliance need, made this appliance one of the most used devices in the USA.¹⁰ Reducing the need of the patient's adhesion, and the employment of continuous forces⁹ provide to the HA an advantage in comparison with removable functional appliances.

The dental and maxillo-mandibular skeletal effect of HA has been successful documented.¹¹⁻¹⁶ However, there is a gap in the literature about the skeletal changes of the posterior region of the cranial base after the mandibular advancement with the HA. Up to this point, studies were not found that compared theoretical change of the position and morphology of the cranial base associated with HA. It is clinically speculated that with mandibular advancement, forced by the HA, the entire supporting structures of the glenoid fossa will undergo traction towards the anterior and inferior direction. Thus, it is theoretically plausible to hypothesize that dimensional or spatial changes in the posterior region of the cranial base could associated.

Spheno-occipital synchondrosis is an important growth center, directly related to the anterior-posterior growth of the skull base. This growth will only end when the fusion of the spheno-occipital synchondrosis occurs. Wai et. al.¹⁷ have shown in a histological study with rats that mechanical stimulation that traction force applied to the spheno-occipital synchondrosis, can induce and potentiate the growth of the skull base. Therefore, the use of the complete cranial base (anterior and posterior) for overlapping images in growing patients can be questioned, since changes in the posterior part of the skull can occur due to intrinsic and extrinsic factors in the spheno-occipital synchondrosis.

Conventional two-dimensional (2D) evaluations of the cranial base using cephalometry is critical because of the overlapping of multiple structures, distortion of

images, and the difficulty of accurately identify the anatomical landmarks, thus generating bias.^{13,18,19} Therefore, studies of the dimensional or spatial changes of the posterior cranial base had presented problems. However, with the improvement and increased accessibility of three-dimensional (3D) images, generated with cone-beam computed tomography (TCFC), a new reality was opened to the longitudinal evaluations of the facial growth. Since 3D images allow a voxel-based, fully automated volumetric superposition in anterior cranial fossa, systematic errors and limitations inherent to 2D imaging techniques were eliminated.

The objective of this study was to perform a 3D assessment of the posterior region of the cranial base of Class II/1 malocclusion patients treated with HA.

MATERIALS AND METHODS

The approval for this study was given by the Ethics Committee and human research from the Pontifical Catholic University of Minas Gerais under the number 21534013.8.5137.

From the orthodontic records database of patients treated at the Graduate Program in Orthodontics at the Pontifical Catholic University of Minas Gerais (Belo Horizonte, Brazil), a sample of patients were selected for this retrospective evaluation. Based on data collected from 10 randomly selected cases, the sample size was calculated (n = 20 individuals for each group), taking into account a standard deviation of 0.325 mm (primary outcome of the investigation), an alpha significance level of 0.05, and a beta of 0.2 to achieve 80% power to detect morphological changes in the base of the posterior skull with an acceptable maximum error of 0.3 mm and 0.5 degrees. Therefore, the effect size was very close to 1. A maximum error of 0.3mm was pre-established because this is the voxel size of the available TCFCs, and 0.5 degrees because this is the classic margin of error described for cephalometric measurements. Thus, the study of this sample consisted of 40 adolescents within 12 to 16 years of age with malocclusion Class II Division 1 (20 in the Herbst appliance group HAG, and 20 in the comparison group CG). The comparison group consisted of patients who had the indication of receiving therapy with HA, but before mandibular advancement would need other dental treatments, such as the cyst dentigerous marsupialization, restorations, or partial orthodontic appliances for the decompensation of maxillary teeth.

In the beginning of the study (T0), all patients were within 12 and 16 years of age, had Class II/1 skeletal malocclusion (ANB $\geq 4^{\circ}$), had a convex profile, were in permanent dentition, and presented a clinically diagnosed mandibular retrusion, according to criteria previously described in the literature.²⁰ The overjet presented by the HAG patients allowed a

full activation of the appliance in order to correct the malocclusion. However, the amount of sagittal and vertical activation was varied between patients. All patients had active growth potential according to the method of evaluating the maturation of cervical vertebrae (CS2-CS4)²¹, and had indication of orthodontic treatment. The study excluded individuals who had syndromes, clefts, dentofacial deformities, temporomandibular joint dysfunction patients, individuals who have undergone previous orthodontic treatment with functional appliance (headgears or mandibular activators), and individuals who did not agree with the informed consent terms.

Manufacture of the HA and activation protocol

The HA telescopes system (3M Abzil, São José do Rio Preto, São Paulo) was constructed with a Hyrax maxillary palatal expander (Morelli, Sorocaba, São Paulo), and a lower lingual holding arch with a 1.0mm stainless steel wire to provide greater strength and stability to the system. A 0.7mm stainless steel wire was rested at the occlusal surface of the permanent second molars to prevent the extrusion of these teeth. The orthodontics bands (Grip Tite - TP Orthodontics, La porte, EUA) were cemented with a multi-cure cement from 3M (Campinas, São Paulo) (Figure 1). The Hyrax maxillary expander was activated only in cases where it was necessary to decompensate transversally the occlusion, before the mandibular advancement with the telescopes.

The one-step full mandibular advancement was performed to reach a Class I canine relationship. It was not an aim to completely eliminate overjet.

Image acquisition

In HAG, CBCTs were acquired before HA insertion (T0), and at the end of the treatment (T1), eight months later. In CG, CBCTs were acquired at the beginning of the study (T0), and approximately eight months later (T1). CBCTs were acquired with an i-CAT scanner (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, United States) with FOV of 16cm x 22cm view, voxel of $0.3 \times 0.3 \times 0.3 \text{ m}$, 36.90 mA 120kV and 40 seconds of exposure. All patients were instructed to bite into maximum intercuspidation during CBCT acquisition.

Images analyses

From the CBCTs, 3D surface virtual models were constructed for the measurement of changes between T0 and T1. The processing of CBCT and of the virtual models were made by using the open-source ITK-SNAP²² software version 2.2 (www.itksnap.org), and open-source 3D Slicer²³ CMF version 3.0 (www.slicer.org).

Scans were subjected to a series of procedures for a 3D analysis that included five steps: a) construction of 3D surface virtual models of the head; b) orientation of the heads in the same Cartesian coordinate system; c) manual approximation, and subsequent automated voxel-based volumetric registration of scans and label maps (3D superposition) using a 3D mask of the anterior cranial fossa (Figure 2); d) identification of the anatomic landmarks (Figure 3); and e) quantitative measurements and visual analysis, using point-to-point measurements and semi-transparent overlays of the 3D virtual models.^{18,19,24,25}

Identifying reference marks

Anatomic landmarks were identified in the multi-planar coronal, sagittal and axial views, and were pre-labeled with a 0.3mm spherical dot. The following landmarks were selected: S1 (mid-point of the floor of sella turcica), S2 (mid-point of the posterior wall of sella turcica), S3 (anterior-superior mid-point of clinoid process), SC1 (inferior-posterior mid-point of the spheno-occipital synchondrosis), SC2 (Midpoint sincodrose spheno-occipital), SC3 (superior-posterior mid-point of the spheno-occipital synchondrosis), CS4 (basion), V1 (anterior arch of the atlas), V2 (Odontoid), P1 (inferior point of the left side styloid process), P2 (inferior point of the right side styloid process), FA1 (most superior point of the left side glenoid fossa) and FA2 (most superior point of the right side glenoid fossa). (Figure 3)

Quantitative evaluation and visual analysis

The quantitative evaluation of the morphological changes of the posterior region of the cranial base was performed by measuring the point-to-point displacement using the Q3DC tool of 3D Slicer software (Figure 4). Visual analytics were also performed with 3D Slicer, using the semi-transparent overlays (Figure 5) associated with closest-point color-mapping (Figure 6).

Displacements were evaluated as the linear projection in the multiplanar 2D Cartesian coordinates (X, Y, Z). The 2D linear projection of the anterior-posterior displacement (Δ Y), and the inferior-superior (Δ Z) were measured on the sagittal plan (YZ), but the right-left 2D linear displacement (Δ X) was measured in the axial plane (XY). The rotation (pitch, roll, and yaw)²⁶ of the posterior region of the cranial base was also measured in the three plans of space. The pitch was measured as the angular change between lines S1-SC4, S1-V1, and S1-V2, and the Cartesian plane between T0 and T1 in a sagittal view. The roll was measured as the angular change between lines S1-SC4, S1-V1, and S1-V2, and the angular change in the lines S1-V1, S1-V2, P1-P2, and FA1-FA2 in axial perspective. Negative values indicate downward, to the right, and rotate counter-clockwise displacement, while positive values indicate upward, to the left, and clockwise rotation displacement.

Statistical analysis

The data analysis was performed using SPSS (version 20.0; SPSS, Chicago, IL). Intra and inter-observer agreement was tested using Intra-class correlation coefficient (ICC). The systematic error and random error assessment were performed with paired t-test and Dahlberg formula, respectively. The assumptions of normality and same variance were not met. Therefore, non-parametric statistics with the Mann-Whitney test to compare the association between HAG and CG was employed.

RESULTS

ICCs were greater than 0.80, showing an adequate reproducibility and repeatability. Quantitative evaluation of changes in the posterior region of the cranial base is reported in Tables 1 and 2. Table 1 shows the linear displacement of the sella turcica and occipital bone, between T0 and T1, in the projected X, Y, Z and Euclidean 3D. Except for the anterior posterior displacement (Y projection) and inferior-superior displacement (Z projection) of the point located in the lower region of the sella turcica, and the inferior-superior displacement (Z projection) all variables did not have statistically significant differences between HAG and CG (P> 0.05). In conclusion, statistically and clinically significant differences were not observed. The angular measurements formed from two anatomical points described in Table 3 were not observed in an increased cranial rotation (pitch, roll or yaw) in the group treated with the AH with respect to the comparison group (P > 0.05).

Figure 5 shows semi-transparent overlay of two-time point (T0 and T1) virtual models of a HAG patient. T0 model is red model, and T1 model is white. The predominance of pink denotes the spatial coincidence of a model relative to each other, showing no significant differences in the skull base in the two points of observation. In the visual analysis, semi-transparent overlays may be associated with color-maps. The predominance of green color was observed, indicating zero displacement between models (Figure 6).

DISCUSSION

This is the first report in the literature on the dentofacial effects of a functional device in the posterior region of the cranial base. In theory, some sort of positional changes could be expected, especially a deflection of posterior cranial base region, since strong force is indirectly applied during the mandibular advancement.

It is known that the spheno-occipital synchondrosis is directly related to the anteroposterior growth of the head, and its full maturation occurs only after puberty. In addition, rotational changes in the cranial base, for example, the deflection of the occipital bone relative to the anterior cranial base, must arise as a result of bone remodeling.²⁷

As the evaluation of growth changes in the facial complex can only be achieved on a relative basis, the entire measurement process in this study was based on the assumption that the anterior cranial fossa is stable over time according to Bjork,²⁸ and therefore it is the most adequate for this type of evaluation.

Patients whose CBCT were analyzed had growth potential, and a variety of degrees of immaturity of spheno-occipital synchondrosis was observed. While some patients at pubertal stage had a completely opened synchondrosis, other patients at the same stage of skeletal maturation had a fused synchondrosis. For Melsen,²⁹ the moment of the total fusion of spheno-occipital synchondrosis is quite varied. It is believed that the complete fusion occurs approximately at 16 to 17 years of age for women and at 18 to 19 in men. Ford,³⁰ in his growth study of the skull base, commented that the synchondrosis may continue to grow until the age of 20 to 25 years old. In a recent study using three-dimensional images, Sinanoglu et. al. (2016) showed that the mean age for complete fusion of synchondrosis was 18 and 20

years for women and men, respectively.³¹ In our study, there were patients with synchondrosis visually opened and closed. Regardless of the degree of spheno-occipital synchondrosis's maturity, after the analysis of 40 patients with growth between 12 and 16 years of age, 20 treated and 20 untreated, the results showed that there was no visual or statistically significant change in the three planes of space in the posterior region of the cranial base, relative to the anterior cranial fossa. In other words, HA was not able to cause some kind of change, even in pubertal young patients who have enormous potential for facial growth.

The quantitative assessment and the 3D visual analysis of the posterior region of the cranial base region following HA treatment was only possible due to the development of automated voxel based volumetric superimposition, which opened a new horizon in this kind of investigation. This method offers advantages over the 2D method. Although historically important, as an evaluative method, using lines, planes and points as references, cephalograms have limited capacity to offer a reliable surface for a longitudinal comparison. Before the introduction of 3D methods it was not possible to make assessments about the roll and yaw because only the sagittal view was available, limiting then a 3D review of the cranial deflection.

As variability with and within observers can occur, affecting the repeatability and reproducibility, in the current investigation only anatomical landmarks with a high reproducibility in computed tomography (sella, basion, odontoid, atlas, styloid process, glenoid fossa and spheno-occipital synchondrosis) were chosen. The agreement between observers and intra-observer with ICC showed a high confiability for quantitative evaluations. In the qualitative assessment with the semi-transparent overlays and color-maps it was possible to get a full visual analysis of the entire skull base region, confirming what the quantitative assessment had shown.

Questions regarding homogeneous and uniform sample may also occur. However, all of these variables were tested and proved to be very reliable. Because this is a very homogeneous sample, we understand that the results are reliable.

CONCLUSION

There were no positional or morphological changes in the posterior region of the cranial base associated with the use of HA.

REFERENCES

- Emrich RE, Brodie AG, Blayney JR. Prevalence of Class I, Class II, and Class III Malocclusions (Angle) in an Urban Population An Epidemiological Study. J Dent Res. 1965;44:947-953.
- Massler M, Frankel JM. Prevalence of malocclusion in children aged 14 to 18 years. Am J Orthod. 1951;37:751-768.
- McNamara Jr JA. Components of Class II Malocclusion in children 8-10 years of age. Angle Orthod. 1981;51:177-202.
- Pancherz H, Zieber K, Hoyer B. Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: a comparative study in children. *Angle Orthod*. 1997;67:111-120.
- Franchi L, Pavoni C, Faltin K Jr, McNamara JA Jr, Cozza P. Long-term skeletal and dental effects and treatment timing for functional appliances in Class II malocclusion. *Angle Orthod*. 2013;83:334-340.
- McNamara JA Jr, Franchi L, Baccetti T. A cephalometric comparison of treatment with the Twin block and stainless steel crown Herbst appliances followed by fixed appliance therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;126:7-15.
- Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara JA Jr. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129:599e1-599-e12.
- Yang X, Zhu Y, Long H, Zhou Y, Jian F, Ye N, et al. The effectiveness of the Herbst appliance for patients with Class II malocclusion: a meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2016;38(3):324-333.
- 9. Pancherz H. Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. A cephalometric investigation. *Am J Orthod*. 1979;76:423-442.
- Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr. Treatment and posttreatment effects of acrylic splint Herbst appliance therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999; 115:429-438.
- 11. Hägg U, Du X, Rabie ABM. Initial and late treatment effects of headgear-Herbst appliance with mandibular step-by-step advancement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;122:477-485.
- 12. Hansen K. Treatment and posttreatment effects of the Herbst appliance on the dental arches and arch relationships. *Semin Orthod*. 2003;9:67-73.

- LeCornu M, Cevidanes LH, Zhu H, Wu CD, Larson B, Nguyen T. et al. Threedimensional treatment outcomes in Class II patients treated with the Herbst appliance: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;144:818-830.
- VanLaecken R, Martin CA, Dischinger T, Razmus T, Ngan P. et al. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance: a cephalometric and tomographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130:582-593.
- Barnett GA, Higgins DW, Major PW, Flores-Mir C. Immediate skeletal and dentoalveolar effects of the crown - or banded type Herbst appliance on Class II division 1 mal occlusion. *Angle Orthod.* 2008;78:361-369.
- Pancherz H, Fischer S. Amount and direction of temporomandibular joint growth changes in herbst treatment: a cephalometric long-term investigation. *Angle Orthod*. 2003;73:493-501.
- 17. Lei WY, Wong RWK, Rabie ABM. Factors regulating endochondral ossification in the spheno-occipital synchondrosis. *Angle Orthod*. 2008;78;215-220.
- Cevidanes LHC, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129:611-618.
- 19. Cevidanes LH, Oliveira AE, Grauer D, Styner M, Proffit WR. Clinical application of 3D imaging for assessment of treatment outcomes. *Semin Orthod*. 2011;17:72-80.
- 20. Martina R, Cioffi I, Galeotti A, Tagliaferri R, Cimino R, Michelotti A, et al. Efficacy of the Sander bite-jumping appliance in growing patients with mandibular retrusion: a randomized controlled trial. *Orthod Craniofac Res.* 2013;16:116-126.
- 21. HASSEL B, FARMAN AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;107:58-66.
- 22. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*. 2006;31:1116-1128.
- Simmross-Wattenberg F, Carranza-Herrezuelo N, Palacios-Camarero C, Pablo Casasecade-la-Higuera P, Martín-Fernández MA, Aja-Fernández S, et al. Group-Slicer: a collaborative extension of 3D-Slicer. *J Biomed Inform.* 2005;38:431-442.
- Cevidanes LHC, Heymann G, Cornelis MA, De Clerck HJ, Tulloch JFC. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136:94-99.

- 25. Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner M. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137:120-129.
- Ackerman JL, Proffit WR, Sarver DM, Ackerman MB, Kean MR. Pitch, roll, and yaw: Describing the spatial orientation of dentofacial traits. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131:305-310.
- Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL. Ortodontia: princípios e técnicas atuais. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- 28. Bjork A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. *Am J Phys Anthropol.* 1968;29:243-254.
- 29. Melsen B. The cranial base: The postnatal development of the cranial base studied histologically on human autopsy material. *Am J Orthod*. 1974;66:689-691.
- 30. Ford EHR. Growth of the human cranial base. Am J Orthod. 1958;44:498-506.
- Sinanoglu A, Kocasarac HD, Noujeim M. Age estimation by an analysis of sphenooccipital synchondrosis using cone-beam computed tomography. *Legal Medicine*. 2016;18;13-19.

FIGURES



Figure 1. Herbst appliance – The HA telescopes system was constructed with a Hyrax maxillary palatal expander. Lower lingual holding arch with a 1.0mm stainless steel wire. A 0.7mm stainless steel wire was rested at the occlusal surface of the permanent second molars. The orthodontics bands (Grip Tite) were cemented with a multi-cure cement.



Figure 2. 3D mask of the anterior cranial fossa region (green) used for the volumetric registration.



Figure 3. Landmarks. Sagittal view: S1 - Sella inferior; S2 - Sella posterior; S3 – Clinoid process; SC1 - Spheno-occipital synchondrosis inferior; SC2 - Midpoint sincodrose spheno-occipital; SC3 - Spheno-occipital synchondrosis superior; CS4 – Basion; V1 - Anterior arch of the atlas; V2 – Odontoid.

Left and Right sides: FA1 - Glenoid fossa left; FA2 - Glenoid fossa right.

Coronal view: P1 - Styloid process left; P2 - Styloid process right.



Figure 4. a) 3D virtual model with spherical landmarks, and spatial position reference locators. b) Spherical landmarks close up.



Figure 5. Semi-transparent overlay of two-time point 3D virtual models (T0 and T1). Red is T0 model, and white is T1 model. Pink color denotes the matching of the posterior region of the cranial base in the two time-point.



Figure 6. Volumetrically superimposed T0 and T1 models generate a closest-point model-tomodel distance matrix, then converted into a color-mapping visual analytic tool. The predominance of green color indicates no displacement between models.

TABLES

Table 1	Descriptive and St	atistical Anal Measurem	lyses of th ents	ie Comj	parison of L	inear
Measurements	Coordinates	Groups	Mean	SD	Median	P-value
floor a	X	CG HAG	0.00 -0.01	0.04 0.05	0.00 0.00	0.565
of the 1 turcic	у	CG HAG	-0.30 -0.01	0.42 0.39	-0.30 0.02	0.033*
point (f sella	Z	CG HAG	-0.02 0.31	0.41 0.36	-0.15 0.27	0.004*
Mid-	3D	CG HAG	0.58 0.51	0.29 0.32	0.51 0.37	0.327
he sella	X	CG HAG	-0.02 0.01	0.07 0.04	0.00 0.00	0.221
nt of tl all of ica	У	CG HAG	-0.25 -0.11	0.39 0.35	-0.14 -0.03	0.289
id-poii rior w turc	Z	CG HAG	0.02 0.18	0.45 0.39	-0.15 0.16	0.086
M. poste	3D	CG HAG	0.49 0.49	0.42 0.27	0.32 0.49	0.174
r mid- ocess	X	CG HAG	-0.01 -0.01	0.07 0.09	0.00 -0.01	0.565
iperioi ioid pr	У	CG HAG	-0.34 -0.14	0.37 0.42	-0.30 0.00	0.114
ior-Su of clin	Z	CG HAG	0.09 0.27	0.34 0.54	0.10 0.18	0.398
Anter point	3D	CG HAG	0.52 0.6	0.33 0.45	0.47 0.52	0.620
r mid- teno- drosis	x	CG HAG	-0.01 0.00	0.07 0.06	$0.00 \\ 0.00$	0.947
osterio ne Sph nchon	у	CG HAG	-0.14 -0.40	0.48 0.57	-0.08 -0.25	0.277
ior-Pc nt of th ital sy	Z	CG HAG	-0.03 0.20	0.57 0.62	-0.03 0.35	0.221
Super poir occipi	3D	CG HAG	0.63 0.85	0.40 0.42	0.56 0.75	0.046*
	X	CG HAG	-0.61 -0.57	0.65 0.87	-0.49 -0.38	0.547
ion	У	CG HAG	-0.01 0.02	0.05 0.06	0.00 0.00	0.142
Bas	Z	CG HAG	-0.29 0.23	0.51 0.47	-0.19 0.27	0.001*
	3D	CG HAG	0.89 0.92	0.57 0.69	0.64 0.75	0.925

*Statistically significant

CG – Comparison Group; HAG – Herbst appliance group X – left/right; Y – anterior/posterior; Z – superior/inferior; 3D – Euclidean distance Positive values indicate upward, left, forward displacement, and clockwise rotation.

Negative values indicate downward, right, backward displacement, and counterclockwise rotation.

Table 2 Descriptive and Statistical Analyses of the Comparison of Linear Measurements							
Measurements	Coordinates	Groups	Mean	SD	Median	P-value	
IS	v	CG	-0.20	1.46	-0.61	0.989	
atls	А	HAG	-0.52	1.09	-0.36	0.707	
the	V	CG	0.02	0.10	0.01	0 947	
h of	y	HAG	0.01	0.10	0.02	0.917	
arc	Z	CG	0.23	2.04	-0.23	0.478	
srioi		HAG	-0.28	1.49	-0.33		
Ante	3D	CG	1.99	1.49	1.66	0.478	
1		HAG	1.59	1.08	1.29		
	х	CG	-0.20	1.79	-0.59	0.583	
		HAG	-0.62	1.43	-0.45		
id	у	CG	0.03	0.10	0.01	0.081	
onto		HAG	-0.02	0.05	0,00		
Odd	Z	CG	0.18	1.32	0.14	0.659	
		HAG	0.02	0.76	0.33		
	3D	CG	1.83	1.22	1.42	0.355	
		HAG	1.45	0.91	1.18		
		66	0.21	0.55	0.2		
the	Х	CG	-0.31	0.55	-0.3	0.820	
nt of foss		HAG	-0.25	0.7	-0.27		
poir loid	У		-0.27	0.04	-0.05	0.277	
rior gler		CG	-0.05	0.70	0.02		
uper ide	Z	HAG	0.01	0.44	-0.03	0.738	
ost s eft s		CG	0.07	0.00	0.00		
Mc	3D	HAG	1.08	0.42	0.87	0.495	
		Into	1.00	0.0	0.00		
Ø		CG	-0.35	0.64	-0.33		
f the ssa	Х	HAG	-0.24	0.60	-0.05	0.583	
nt o d fo		CG	0.45	0.78	0.30		
: poi	У	HAG	0.34	0.94	0.48	0.862	
e gle		CG	-0.05	0.41	0.03	0.450	
supe	Z	HAG	0.03	0.50	0.11	0.478	
ost (ight	ight	CG	1.10	0.51	1.09	0.004	
r M	3D	HAG	1.11	0.61	1.15	0.904	

 $\begin{array}{l} CG-Comparison\ Group;\ HAG-Herbst\ appliance\ group \\ X-left/right;\ Y-anterior/posterior;\ Z-superior/inferior;\ 3D-Euclidean\ distance \end{array}$

Positive values indicate upward, left, forward displacement, and clockwise rotation.

Negative values indicate downward, right, backward displacement, and counterclockwise rotation.

Table 3 Descriptive and Statistical Analyses of the Comparison of Angular Measurements						
Measurements	Coordinates	Groups	Mean	SD	Median	P-value
Sella turcica -Basion	Pitch	CG	-0.18	0.94	-0.24	0 231
Sena tarerea -Dasion	Then	HAG	-0.55	0.64	-0.54	0.231
	Yaw	CG	0.06	0.43	0.01	0.779
Sella Turcica - Anterior		HAG	0.07	0.40	0.12	
arch of atlas	Pitch	CG	-0.06	1.42	-0.25	0.799
		HAG	-0.24	1.08	-0.49	
		CG	0.09	0.32	0.00	0.301
	Yaw	HAG	-0.02	0.16	-0.01	
Sella turcica - Odontoid	Pitch	CG	-0.10	1.90	-0.36	0.640
		HAG	-0.44	1.17	-0.47	
	Vaw	CG	0.28	1.14	0.08	0 773
Styloid process/L-Styloid	1 aw	HAG	0.22	0.79	-0.03	0.775
process-R	Roll	CG	-0.37	1.74	-0.25	0.686
	Ron	HAG	-0.06	0.45	-0.01	0.000
	Yaw	CG	-0.02	0.33	0.06	0.698
Glenoid fossa/L- Glenoid		HAG	0.02	0.48	0.11	
TOSSA/R	Roll	CG	-0.03	0.23	0.01	0.529
		HAG	-0.03	0.37	-0.13	

CG – Comparison Group; HAG – Herbst Appliance Group Positive values indicate clockwise rotation Negative values indicate counter-clockwise rotation.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo procurou-se responder perguntas à respeito dos efeitos do AH na região posterior da base do crânio. Os resultados desse estudo estão sendo apresentados na forma de artigo de acordo com a recomendação do Colegiado de Pós-graduação em Odontologia da PUC Minas.

Baseando-se na análise dos resultados referentes às mudanças após o uso do AH, é lícito concluir que não foram observadas mudanças posicionais ou morfológicas na base posterior do crânio associadas ao uso do AH.

Apesar de se tratar de um estudo retrospectivo longitudinal, utilizando o banco de dados dos prontuários de documentação ortodôntica dos pacientes tratados no Programa de Pós-graduação em Ortodontia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, todos os pacientes selecionados realizaram as tomografias no mesmo local e com o mesmo tomógrafo, evitando assim, possíveis vieses com relação aos parâmetros do equipamento.

É importante ressaltar que estudos utilizando superposição de modelos 3D a partir de tomografias computadorizadas são muito laboriosos e demorados, visto que o tempo de processamento para se fazer o registro volumétrico na base do crânio é grande. Mesmo com uma amostra de "apenas" 40 pacientes, foram necessários vários meses de trabalho. Sendo assim, ainda é bastante complicada a introdução desse método na rotina clínica.

Nesse estudo, a utilização de TCFC foi de extrema importância. A avaliação da base do crânio não seria possível de ser realizada apenas com radiografias bidimensionais, pois pontos ou planos de referência identificados na fossa craniana anterior tem limitação de serem localizadas devido às várias estruturas anatômicas sobrepostas, e por ser uma região relativamente pequena.

O uso de TCFC nas clínicas de Ortodontia é uma realidade nos dias atuais, e graças aos avanços tecnológicos e a ajuda de pessoas capacitadas em uma parceria com o laboratório de imagens da Escola de Odontologia da Universidade de Michigan e da Carolina do Norte, chegou-se aos dados inéditos aqui apresentados sobre o AH. A ideia original deste estudo partiu do Professor Tung Nguyen, durante o congresso americano de 2014, e depois de muitas discussões entre o orientador e coorientador da Mestranda, com a equipe do Dental and Craniofacial Bionetwork for Image Analysis da Universidade de Michigan, chegou-se a esta metodologia, aqui

apresentada para avaliar a região posterior da base do crânio. É um método inédito, e que ainda não foi validado.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, J.L. et al. Pitch, roll, and yaw: Describing the spatial orientation of dentofacial traits. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.131, n.3, p. 305-310, Mar. 2007.

ALMEIDA, M.R. et al. Efeitos dentoesqueléticos produzidos pelo aparelho de Herbst na dentadura mista. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.11, n.5, p. 21-34, set./out. 2006.

ARAT, Z.M.; RÜBENDÜZ, M.; AKGÜL, A.A. The displacement of craniofacial reference landmarks during puberty: a comparison of three superimposition methods. **The Angle Orthodontist**, v.73, n.4, p. 374-380, Aug. 2003.

BACCETTI, T.; FRANCHI, L.; STAHL, F. Comparison of 2 comprehensive Class II treatment protocols including the bonded Herbst and headgear appliances: a doubleblind study of consecutively treated patients at puberty. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.135, n.6, p. 698e1-198e10, June 2009.

BITTENCOURT, M.A.V.; MACHADO, A.W. An overview of the prevalence of malocclusion in 6 to 10-year old children in Brazil. **Dental Press Journal of Orthodontics**, v. 15, n.6, p. 113-122, Dec. 2010.

BJÖRK, A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. **American Journal of Physical Anthropology**, Philadelphia, v.29, n.2, p. 243-254, Sept. 1968.

BJÖRK, A. Prediction of mandibular growth rotation. **American Journal of Orthodontics**, v.55, n.6, p. 585-599, June 1969.

BROADBENT, B.H. A new x-ray technique *and* its application to orthodontia. **The Angle Orthodontist**, v.51, n.2, p. 93-114, Apr. 1981.

CEVIDANES, L.H.C.; STYNER, M.A.; PROFFIT, W.R. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.129, n.5, p. 611-618, May 2006.

CEVIDANES, L.H.C. et al. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.136, n.1, p. 94-99, July 2009.

CEVIDANES, L.H.C. et al. Cranial Base Superimposition for 3D Evaluation of Soft Tissue Changes. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.137, n.4, p. 120-129, Apr. 2010.

CEVIDANES, L.H.C. et al. Clinical application of 3D imaging for assessment of treatment outcomes. **Seminars in Orthodontics**, v.17, n.1, p. 72-80, Mar. 2011.

DE COSTER, L. A new line of reference for the study of lateral facial teleradiographs. **American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics**, v.39, n.4, p. 304-306, Apr. 1953.

ENLOW, D.H. Crescimento facial. 3. ed. Philadelphia: Iglu, 1993. 553p.

FORD, E.H.R. Growth of the human cranial base. **American Journal of Orthodontics**, v.44, n.7, p. 498-506, 1958.

FRANCHI, L.; BACCETTI, T.; McNAMARA Jr., J.A. Treatment and posttreatment effects of acrylic splint Herbst appliance therapy. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.115, n.4, p. 429-438, Apr. 1999.

GRABER, L.W.; VANARSDALL, R.L.; VIG, K.W.L. **Ortodontia:** princípios e técnicas atuais. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

HÄGG, U.; PANCHERZ, H. Dentofacial orthopaedics in relation to chronological age, growth period and skeletal development. An analysis of 72 male patients with Class II division 1 malocclusion treated with the Herbst appliance. **European Journal of Orthodontics**, v. 10, n.3, p. 169-176, Aug. 1988.

HASSEL, B.; FARMAN A.G. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.107, n.1, p. 58-66, Jan. 1995.

HEYMANN, G.C. et al. Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.137, n.2, p. 274-284, Feb. 2010.

JOHNSTON L. E. Balancing the books on orthodontic treatment: an integrated analysis of change. **British Journal of Orthodontics**, v. 23, n.2, p. 93-102, May 1996.

KEIM, R. G. et al. JCO study of Orthodontic diagnosis and treatment procedures. **Journal of Clinical Orthodontics**, v. 48, n. 10, p. 607-630, Oct. 2014.

LeCORNU, M. et al. Three-dimensional treatment outcomes in Class II patients treated with the Herbst appliance: a pilot study. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.144, n.6, p. 818-830, Dec. 2013.

MARTINA, R. et al. Efficacy of the Sander bite-jumping appliance in growing patients with mandibular retrusion: a randomized controlled trial. **Orthodontics & Craniofacial Research**, v.16, n.2, p. 116-126, May 2013.

McNAMARA Jr., J.A. Components of class II malocclusion in children 8-10 years of age. **The Angle Orthodontist**, v.51, n.3, p. 177-202, July 1981.

MELSEN, B. The cranial base: The postnatal development of the cranial base studied histologically on human autopsy material. **American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics**, v.66, n.6, p. 689-691, Dec. 1974.

MORO, A. et al. Comparative study of complications during Herbst treatment with Cantilever Bite Jumper and removable mandibular acrylic splint. **Dental Press Journal Orthodontics**, v.16, n.1, p. e.1-e.7, Jan. 2011.

MOTTA, A.T.S. et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models in orthognathic surgery. **Dental Press Journal Orthodontics**, v.15, n.2, p. 39-41, Mar./Apr. 2010.

PANCHERZ, H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment: A cephalometric investigation. **American Journal of Orthodontics**, v.82, n.2, p.104-113. 1982.

PANCHERZ, H. The Herbst appliance - Its biologic effects and clinical use. **American Journal of Orthodontics**, v.87, n.1, p. 1-20. Jan. 1985.

PANCHERZ, H.; ZIEBER, K.; HOYER, B. Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: A comparative study in children. **The Angle Orthodontist**, v.67, n.2, p. 111-120, Apr. 1997.

PANCHERZ, H. History, background, and development of the Herbst appliance. **Seminars in Orthodontics**, v.9, n.1, p. 3-11, Mar. 2003.

PAUWELS R., et al. Estimating cancer risk from dental cone-beam CT exposures based on skin dosimetry. **Physics in Medicine and Biology**, v.59, n.14, p. 3877-3891, June 2014.

POWELL, T.V.; BRODIE, A.G. Closure of the spheno-occipital synchondrosis. **The Anatomical Record**, v.147, p. 15-23, Sept. 1963.

RICKETTS, R.M. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. The first fifty years. **The Angle Orthodontist**, v.51, n.2, p.115-150, Apr. 1981.

SCHAEFER, A.T. et al. A cephalometric comparison of treatment with the Twin block and stainless steel crown Herbst appliances followed by fixed appliance therapy. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.126, n.1, p. 7-15, July 2004.

SCHIÖTH, T. et al. Complications during Herbst appliance treatment with reduced mandibular cast splints. **Journal of Orofacial Orthopedics**, v.68, n.4, p. 321-327, July 2007.

SILVA FILHO, O.G.; AIELLO, C.A.; FONTES, M.V. Aparelho Herbst: protocolos de tratamento precoce e tardio. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.10, n.1, p. 30-45, jan./fev. 2005.

SILVA, J.F.E. et al. Retrospective study of clinical complications during orthodontic treatment with either a removable mandibular acrylic splint Herbst or with a cantilever Herbst. **The Angle Orthodontist**, v.85, n.1, p. 64-71, Jan. 2015.

SIMMROSS-WATTENBERG, F. et al. Group-Slicer: a collaborative extension of 3D-Slicer. **Journal of Biomedical Informatics**, v.38, n.6, p. 431-442, Dec. 2005.

SINANOGLU, A.; KOCASARAC, H.D.; NOUJEIM, M. Age estimation by an analysis of spheno-occipital synchondrosis using cone-beam computed tomography. **Legal Medicine**. v.18, p.13-19, Jan. 2016.

STEINER, C.C. Cephalometrics for you and me. **American Journal of Orthodontics**, v.39, n.10, p. 720-755, Oct. 1953.

VanLAECKEN, R. et al. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance: a cephalometric and tomographic investigation. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.130, n.5, p. 582-593, Nov. 2006.

YANG, X., et al. The effectiveness of the Herbst appliance for patients with Class II malocclusion: a meta-analysis. **European Journal of Orthodontics**, v.38, n.3, p. 324–333, June 2016.

YUSHKEVICH, P.A. et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. **Neuroimage**, v.31, n.3, p. 1116-1128, July 2006.

ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



FACULDADE DE ODONTOLOGIA Centro de Odontologia e Pesquisa

Programa de Mestrado em Odontologia - Área de concentração: Ortodontia

No. Registro no CEP:

Título do projeto: A MORFOLOGIA DAS ARTICULAÇÕES TÊMPOROMANDIBULARES É AFETADA PELA TERAPIA ORTOPÉDICA COM ATIVADOR MANDIBULAR HERBST?

Prezado Senhor (a),

Este Termo de Consentimento pode conter palavras que você não entenda. Peça ao pesquisador que explique as palavras ou informações não compreendidas completamente.

1) Introdução

O seu (sua) filho (a) está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa que estudará a ação do tratamento da má oclusão que ele é portador sobre as articulações têmporomandibulares (articulação da mandíbula).

Ele (a) foi selecionado (a) por apresentar a indicação para receber este procedimento (Ativação mandibular ortopédica), além de atender a outros critérios essenciais para a uniformidade da pesquisa. A participação dele não é obrigatória. O objetivo do projeto é avaliar se após o uso deste tipo de aparelho ortopédico, a forma e a posição desta articulação é afetada. Esta informação não está disponível no conhecimento atual e poderá auxiliar na compreensão de maneiras mais seguras de tratamento desta má oclusão.

2) Procedimento do Estudo

Para participar deste estudo solicito a sua especial colaboração em não faltar às consultas odontológicas, realizar os exames solicitados e cumprir com as recomendações de cuidado do aparelho em casa. As tomografias computadorizadas serão realizadas antes do início do tratamento, imediatamente após a instalação do aparelho ativador mandibular e ao final do tratamento. Todos os exames serão feitos na Clínica Life Imagem, com encaminhamento a ser realizado na época dos exames.

3) Riscos e Desconfortos

O procedimento de ativação mandibular é indispensável para o tratamento de seu (sua) filho (a) e pode provocar dolorimento durante a primeira semana, além de desconforto na fala e na alimentação. O uso de analgésicos convencionais poderá trazer alívio ao dolorimento. A ativação do aparelho acontecerá no dia da instalação. Após 6 meses da ativação mandibular o(a) seu (sua) filho (a) usará o aparelho fixo convencional colado aos dentes, cujo desconforto pode estar associado às ativações (apertos), durante 3 dias. Da mesma maneira, o uso de analgésico poderá ser prescrito pelo ortodontista responsável, buscando amenizar o desconforto. Os exames a serem realizados, incluindo a tomografia computadorizada que será solicitada, apresentam dose segura de exposição radiográfica, compatível com os exames de rotina na clínica ortodôntica.

4) Benefícios

Você receberá o tratamento ortodôntico completo na clínica de Ortodontia da PUC Minas, com isenção total dos custos do tratamento (oferecido pela própria instituição), bem como dos exames complementares, que serão feitos na própria universidade ou em clínica particular (oferecido sem custos pelos pesquisadores).

5) Tratamento Alternativo

A ativação mandibular é indispensável para o seu tratamento e é normalmente a primeira opção para o tipo de problema que você é portador. Alternativamente você poderá corrigir a má oclusão de Classe II por meio de cirurgia ortognática.

6) Custos/Reembolso

Você não terá nenhum gasto com a sua participação no estudo e também não receberá pagamento pelo mesmo. Todos os custos referentes a montagem dos aparelhos, consultas de manutenção, exames de diagnóstico são de responsabilidade dos pesquisadores.

7) Responsabilidade

Efeitos indesejáveis são possíveis de ocorrer em qualquer estudo de pesquisa, apesar de todos os cuidados possíveis, e podem acontecer sem que a culpa seja sua ou dos pesquisadores. Se você sofrer efeitos indesejáveis como resultado direto da sua participação neste estudo, a necessária assistência profissional será providenciada pelos pesquisadores.

8) Caráter Confidencial dos Registros

A sua identidade será mantida em sigilo. Dessa forma, você não será identificado quando o material de seu registro for utilizado, seja para propósitos de publicação científica ou educativa.

9) Participação

Sua participação neste estudo é muito importante e voluntária. Você tem o direito de não querer participar ou de sair deste estudo a qualquer momento, sem penalidades ou perda de qualquer benefício ou cuidados a que tenha direito nesta instituição. Você também pode ser

desligado do estudo a qualquer momento sem o seu consentimento nas seguintes situações: (a) você não use ou siga adequadamente as orientações/tratamento em estudo; (b) você sofra efeitos indesejáveis não esperados; (c) o estudo termine. Em caso de você decidir retirar-se do estudo, favor notificar o profissional e/ou pesquisador que esteja atendendo-o.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, coordenado pela Prof.^a Cristiana Leite Carvalho, que poderá ser contatado em caso de questões éticas, pelo telefone 3319-4517 ou e-mail cep.proppg@pucminas.br.

Os pesquisadores responsáveis pelo estudo poderão fornecer qualquer esclarecimento sobre o estudo, assim como tirar dúvidas, bastando contato no seguinte endereço e/ou telefone:

Nome da pesquisadora: Paula Loureiro Cheib Vilefort

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico. Telefone: 31 3319-4456

E-mail: paulalc27@hotmail.com

Li ou alguém leu para mim as informações contidas neste documento antes de assinar este termo de consentimento. Declaro que toda a linguagem técnica utilizada na descrição deste estudo de pesquisa foi satisfatoriamente explicada e que recebi respostas para todas as minhas dúvidas. Confirmo também que recebi uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Compreendo que sou livre para me retirar do estudo em qualquer momento, sem perda de benefícios ou qualquer outra penalidade.

Assinatura do responsável legal

Assinatura do paciente

Assinatura do pesquisador responsável

ANEXO B - Aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa da PUC Minas



Availar, por meio de Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico, as mudanças estruturais ao

Endereço: Av. Dom José Gaspar, 500 - Prédio 03, sala 228					
Bairro: Coração Eucaristico	CEP:	30.535-901			
UF: MG Municipio:	BELO HORIZONTE				
Telefone: (31)3319-4517	Fax: (31)3319-4517	E-mail:	cep.proppg@pucminas.br		

Página 01 de 03



Continuação do Parecer: 408.327

nivei da articulação temporomandibular de pacientes portadores de má ociusão de Classe II tratados com ativador mandibular tipo Herbst.

Availação dos Riscos e Beneficios:

O procedimento de ativação mandibular é indispensável para o tratamento podendo, provocar dolorimento durante a primeira semana, além de desconforto na faia e na alimentação. O uso de anaigésicos convencionais poderá trazer alivio ao dolorimento. O paciente receberá o tratamento ortodôntico completo na cilnica de Ortodontia da PUC Minas, com isenção total dos custos do tratamento (oferecido pela própria Instituição), bem como dos exames complementares, que serão feitos na própria universidade ou em cilnica particular (oferecido sem custos pelos pesquisadores).

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O estudo é relevante, respaidado pela literatura.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha rosto - OK

TCLE - OK

Tomografias custesdas pelos professores responsáveis pela disciplina (Termo de responsabilidade anexado).

Anexada declaração da Instituição, Isentando os participantes dos custos do tratamento.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações: NDN

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Endereço:	Av. Dom José Gaspa	er, 500 - Prédio 03, sala 228	8	
Bairro: C	oração Eucaristico	CEP:	30.535-901	
UF: MG	Municipio:	BELO HORIZONTE		
Telefone:	(31)3319-4517	Fax: (31)3319-4517	E-mail:	cep.proppg@pucminas.br

Página 02 de 03



Continuação do Parecer: 408.327

BELO HORIZONTE, 27 de Setembro de 2013

Assinador por: CRISTIANA LEITE CARVALHO (Coordenador)

Enderego: Av. Dom José Gaspar, 500 - Prédio 03, sala 228						
	Bairro: Corsção Eucerístico	CEP:	30.535-901			
	UF: MG Municipio:	BELO HORIZONTE				
	Telefone: (31)3319-4517	Fax: (31)3319-4517	E-mail:	cep.proppg@pucminas.br		

Página 03 de 03