

Modificações do côndilo-fossa e interações musculares durante o tratamento com Herbst - Parte 1: novos métodos tecnológicos.

John C. VONDOURIS¹, Donald G. WOODSIDE^b, Gurkan ALTUNA^c, Mladen M. KUFTINEC^d, Gerassimos ANGELOPOULOS^e e Paul J. BOURQUE^f - Nova Iorque, NY e Toronto, Ontario, Canadá

Resumo

As alterações no côndilo, na fossa glenóide e nos músculos da mastigação foram investigadas em indivíduos submetidos ao avanço ortopédico contínuo da mandíbula com o aparelho Herbst-block. A amostra total abrangeu 56 indivíduos e incluiu 15 primatas (nas dentaduras mista, permanente precoce e permanente), 17 pacientes humanos na dentadura permanente precoce utilizando o herbst, e 24 controles humanos do Centro de crescimento de Burlington. Os 8 primatas na dentadura mista intermediária foram o foco deste estudo. O avanço mandibular foi obtido progressivamente em 5 animais adicionando-se "stops" aos braços telescópicos dos aparelhos Herbst funcionais fixos com cobertura oclusal; ativações de 5.0 mm, 7.0mm e 8.0 mm foram obtidas. Dois primatas serviram como controle, e o terceiro foi um controle simulado. Eletrodos eletromiográficos foram implantados cirurgicamente nas cabeças superior e inferior dos músculos pterigóideos laterais, no masséter superficial e nos músculos digástricos anteriores em dois animais experimentais e nos 2 controles. As alterações na direção e na quantidade do crescimento condilar foram avaliadas o método de Björk com base nas mensurações realizadas em traçados cefalométricos seriados sobrepostos sobre implantes metálicos. As secções não descalcificadas, tratadas com coloração vital intravenosa de tetraciclina, foram visualizadas com microscópio fluorescente para examinar as alterações histológicas no côndilo e na fossa glenóide. A nova formação óssea na fossa associada à protrusão mandibular contínua foi quantificada utilizando-se a análise histomorfométrica computadorizada de secções histológicas descalcificadas e luz polarizada. A única combinação de eletrodos eletromiográficos implantados permanentemente, a coloração vital de tetraciclina e a histomorfometria representam um avanço tecnológico significativo em métodos e materiais. Juntas, elas demonstraram resultados diferentes de interação músculo-osso para os aparelhos funcionais diferentes com relação aos relatados em estudos anteriores. Na Parte 1 deste estudo, descrevemos e discutimos as técnicas utilizadas nesta pesquisa e apresentamos uma breve visão dos resultados; na Parte 2 (a ser publicada no próximo mês), oferecemos uma discussão mais aprofundada dos resultados e suas implicações. (Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003;123:604-13).

^a Cientista e Pesquisador, Departamento de Ortodontia, Faculdade de Odontologia, Universidade de Nova Iorque, Nova Iorque, NY; recebeu o Prêmio de Pesquisa Milo Hellman da Associação Americana de Ortodontia por esse trabalho, e o prêmio Aaron Posen da Universidade de Toronto pela excelência clínica; possui uma clínica particular em ortodontia onde trabalha período integral.

^b Professor Emérito, Departamento de Ortodontia, Universidade de Toronto, Toronto, Ontario, Canadá.

^c Professor Associado, Departamento de Ortodontia, Universidade de Toronto, Toronto, Ontario, Canadá.

^d Professor e Diretor, Programa Internacional, Departamento de Ortodontia, Faculdade de Odontologia, Universidade de Nova Iorque, Nova Iorque, NY.

^e Graduado, Departamento de Ortodontia, Universidade de Toronto, Toronto, Ontario, Canadá; associado em Ortodontia, Universidade de Atenas, Grécia; recebeu o prêmio Harry Sicher em 1992.

^f Graduado, Departamento de Ortodontia, Universidade de Toronto, Toronto, Ontario, Canadá, e palestrante clínico meio período, Universidade Dalhousie, Halifax, Nova Scotia, Canadá; recebeu o Prêmio de Pesquisa de Mérito Especial em 1987.

Solicitações de separatas: Dr. John C. Vondouris, 2300 Yonge Street, Suit 707, Toronto, Ontario, Canada M4P 1E4; e-mail jvoud@pathcom.com
Enviado em março de 2001; revisado e aceito em agosto de 2002.

Direitos autorais 2003 da Associação Americana de Ortodontia. 0889-5406/2003/\$30.00 + 0 . doi: 10.1016/S0889-5406(03)00149-5

As interações músculo-osso podem ser particularmente importante para o ortodontista no tratamento de retrognatismo mandibular severo? Uma compreensão mais precisa do que ocorre no côndilo e na fossa glenóide pode abrir uma porta para aprimoramentos e ajustes no modelo de aparelhos. Isto pode auxiliar a se obter um maior sucesso no tratamento com o Herbst e minimizar possíveis complicações, tais como a reabsorção condilar e o deslocamento do disco.

Durante décadas, uma crença predominante era a de que a modificação do crescimento condilar era causada pela hiperatividade do músculo pterigoideo lateral¹. McNamara², utilizando planos de mordida protrusivos e instalações temporárias e acentuadas de eletrodo eletromiográfico (EMG), detectou que a atividade na cabeça superior do músculo pterigoideo lateral poderia estar direta ou indiretamente correlacionada às adaptações esqueléticas graduais. Mais recentemente, entretanto, após uma extensa revisão da literatura, Johnston³ concluiu que a hipótese de hiperatividade do músculo pterigoideo lateral é incorreta. Sua afirmação abalou noções de como os aparelhos funcionais produzem modificações esqueléticas ou condilares (isto é, por meio da hiperatividade neuromuscular) estabelecidas 30 anos atrás. Uma interpretação pode ser a de que a função neuromuscular, especificamente a hiperatividade do músculo pterigoideo lateral, não está relacionada à adaptação óssea esquelética no côndilo quando os aparelhos funcionais são utilizados. De fato, pelo relacionamento da mandíbula protruída para a região dorsal posterior superior na fossa após o tratamento com Herbst, a atividade muscular (tração digástrica anterior) pode estar mais relacionada à recidiva do que com as modificações de crescimento⁴. O problema parece relacionar-se aos métodos antigos de EMG, os quais eram transcutâneos e removíveis.

A teoria de relatividade de crescimento afirma essencialmente que a modificação de crescimento ósseo ocorre com relação a 2 elementos: os tecidos retrodiscais são distendidos reciprocamente, semelhante a uma grande faixa elástica, entre a fossa o côndilo deslocado durante a expansão do complexo facial de crescimento; e a transdução dessas forças não musculares mostraram ser efe-

tivos a uma distância significativa da fixação física real do tecido mole⁴.

O conceito de relatividade de crescimento descreve um conjunto específico de forças recíprocas do tecido mole que operam durante o tratamento com o Herbst, quando a hiperatividade muscular não parece ser a causa primária de alteração esquelética. O côndilo deslocado modifica-se de forma brilhante com relação à fossa, e a fossa cresce também de forma brilhante com relação ao côndilo. Os tecidos retrodiscais distendidos entre o côndilo deslocado e a fossa contribuem para a formação de osso novo em cada região. Além disso, a força referencial ou transdução proveniente da fixação retrodiscal posterior para o côndilo que irradia ao longo da fibrocartilagem condilar está implicada causar a modificação do crescimento.

O crescimento natural para baixo e para trás da fossa glenóide a partir do plano sela-násio durante o crescimento facial pode apresentar o componente inverso restrito por meio da terapia com o Herbst. Esta restrição de crescimento pode contribuir posteriormente para o posicionamento anterior total da fossa glenóide. Isto ocorre além de qualquer modificação de crescimento anterior. A restrição e a modificação de crescimento na fossa podem auxiliar a explicar os resultados esqueléticos positivos observados clinicamente durante o tratamento ortopédico de retrognatismo mandibular Classe II severo.

Estudos documentaram o mecanismo adaptativo da articulação temporomandibular (ATM) tanto em modelos humanos quanto animais. A remodelação da fossa glenóide foi estudada por meio de investigações de alterações após condelectomia⁵⁻⁷, fraturas condilares⁸, procedimentos cirúrgicos na ATM⁹⁻¹⁰, perda de dente permanente^{11,12} e equilíbrio oclusal¹³.

Uma considerável evidência sugere que a terapia com o aparelho ortopédico também pode induzir alterações adaptativas na ATM¹⁴. É importante distinguir as diferentes abordagens na terapia com o aparelho funcional. Uma abordagem utiliza o deslocamento condilar intermitente (a maioria dos aparelhos funcionais removíveis); a outra utiliza o deslocamento contínuo (aparelhos funcionais fixos, tais como o Herbst ou outros aparelhos funcionais colados). A literatura indica que



FIGURA 1 - Máscara facial feita sob medida, modelo facial de pedra e o aparelho Herbst. A máscara facial previniu o deslocamento de eletrodos e aparelhos no grupo experimental.

o deslocamento condilar intermitente em animais e humanos produz resultados variáveis de uma extensa remodelação da fossa glenóide¹⁵ à alterações menores da ATM¹⁶⁻²⁵. Estudos em seres humanos também relatam evidência histológica²⁶ e radiográfica^{27,28} de remodelação da fossa glenóide com a terapia com o aparelho funcional intermitente. Por outro lado, a maioria dos estudos experimentais que utilizam a modificação contínua nas relações cêndilo-fossa glenóide apresenta uma pronunciada capacidade adaptativa da ATM^{14,29}. Os estudos radiográficos e de imagem de ressonância magnética em seres humanos³² que utilizaram força contínua³⁰⁻³³ tendem a confirmar esses resultados.

A imagem radiográfica da fossa glenóide frequentemente é obscurecida por outras estruturas cranianas. Portanto, os estudos histológicos são úteis para avaliar as alterações de remodelação na ATM. O modelo primata nos possibilita quantificar histologicamente³⁴ a quantidade de nova formação óssea na ATM e correlacionar esses resultados com os resultados cefalométricos, radiográficos²⁷⁻²⁹ e de EMG³⁵⁻³⁷.

O objetivo dessa pesquisa foi testar a hipótese de relatividade de crescimento de como os aparelhos ortopédicos funcionam⁴. A revisão da literatura indica que a fossa glenóide pode ser remodelada durante a terapia com o aparelho funcional. Todavia, caso a hiperatividade do músculo pterigóideo lateral não seja responsável pela

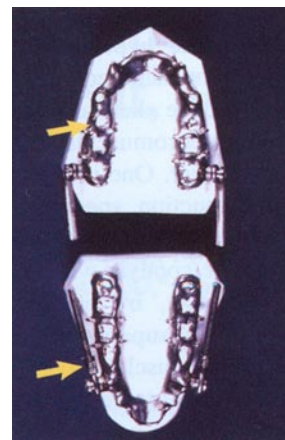


FIGURA 2 - Vista oclusal de modelos com o aparelho Herbst cobrindo as superfícies oclusal superior e inferior para a distração vertical moderada. Este aparelho protrusivo e contínuo foi controlado com puxões de avanço (flecha inferior).

formação de osso novo no cêndilo e fossa, então o que é? Utilizamos a análise cefalométrica e 3 técnicas aprimoradas para mensurar e analisar a resposta da remodelação da fossa glenóide associada à protrusão mandibular contínua em primatas jovens^{1,2}. Essas técnicas são discutidas na Parte 1 de nosso estudo. Na Parte 2, a ser publicada no próximo mês, aprofundamos a discussão de nossos resultados. Ao compreendermos melhor como os músculos e os tecidos moles funcionam com relação à modificação óssea cêndilo-fossa, a finalização clínica e a contenção da má-oclusão Classe II severa caracterizada pelo retrognatismo mandibular e tratada com aparelhos Herbst-block, pode ser melhorada.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise cefalométrica foi utilizada para documentar o crescimento condilar em humanos primatas. Além disso, 3 outras técnicas foram utilizadas, numa tentativa de aprimoramento com relação aos métodos anteriores. Primeiramente, os eletrodos EMG foram implantados permanentemente em alguns indivíduos para monitorar a atividade muscular; o que se opõe aos métodos anteriores, os quais envolviam posicionamentos temporários e transcutâneos. Em segundo lugar, a coloração vital intravenosa com tetraciclina de secções sem descalcificação e um microscópio fluorescente foram utilizados para revelar a formação óssea. Em terceiro lugar, a histomorfometria

computadorizada foi utilizada para analisar quantitativamente a quantidade de novo osso formado. Juntas, essas tecnologias apresentam o potencial de explicar como a atividade muscular afeta a formação óssea, e podem fornecer mais detalhes sobre as interações músculo-osso e de que forma podem ser utilizadas clinicamente durante o tratamento com o Herbst.

A amostra consistiu de 56 indivíduos. Quinze macacos cynomolgus (*Macaca fascicularis*) foram divididos em 3 grupos, com base na dentadura. O primeiro grupo compreendeu 8 fêmeas jovens com idade entre 24 e 36 meses³⁸ na dentadura mista intermediana. Foram comparadas com um segundo grupo de 6 fêmeas adolescentes na dentadura permanente precoce e 1 macho adulto na dentadura permanente. Uma segunda comparação foi realizada com 17 indivíduos humanos (5 do gênero feminino e 11 do gênero masculino) na dentadura permanente precoce tratados com aparelhos Herbst durante 6 meses e relatados anteriormente^{39,40} e 24 controles humanos pareados segundo a idade e o gênero provenientes do Centro de Crescimento de Burlington.

Os primatas geralmente apresentam acima de 90% das aproximadamente 100.000 proteínas humanas, números similares de dentes, e estruturas anatômicas da ATM semelhantes aos humanos. Gianelly³⁸, afirmou corretamente que a taxa de

crescimento de primatas não humanos menores é mais rápida do que dos humanos. O primata constitui o modelo mais próximo existente para comparações com os seres humanos. Por esta razão, o macaco continua a ser o modelo animal principal, particularmente para o estudo histológico dos efeitos dos aparelhos ortopédicos.

Nós concentramos nos 8 animais com dentadura mista. Eles usaram máscaras faciais de fibra de vidro feitas sob medida para permitir o movimento irrestrito e proteger os aparelhos ortodônticos (Fig. 1)⁴¹. O aparelho Herbst-block, com cobertura oclusal posterior com aproximadamente 1.5mm de espessura (Fig. 2) nos segmentos bucais, foi projetado para remoção da pressão vertical no côndilo avançado fora da eminência articular para evitar a reabsorção condilar. Cinco animais utilizaram aparelhos Herbst-block ativados durante 6, 12 ou 18 semanas; 1 usou um simulado inativo por 12 semanas; e os outros 2 serviram de controle. Além disso, cada animal também serviu como seu próprio controle durante 12 semanas antes da colocação do aparelho. Esse esquema de controle foi considerado apropriado porque os períodos de crescimento comparados durante os períodos controle e experimental estavam muito próximos e no mesmo animal. Também nos permitiu evitar manter e sacrificar outros animais controle. O objetivo foi alcançar resultados de interação

Tabela 1. Deslocamento mandibular durante o período experimental obtido a partir de sobreposições totais nas estruturas da base craniana.

Nº	Gênero	Idade	Duração / ativações	Incrementos horizontais de alteração (mm) (+) posterior (-) anterior				Incrementos verticais de alteração (mm) (+) superior (-) inferior				R a r	Pg a Pg
				An Mx	Pos Mx	An Md	Pos Md	An Mx	Pos Mx	An Md	Pos Md		
299	F	Cino juvenil	6 semanas/4mm	1.1	1.1	-0.4	-0.7	-1.4	1.7	-2.1	-0.9	1.4	1.1
285	F	Cino juvenil	12 semanas/7mm	0.9	1.3	1.8	2.0	0.5	1.2	1.7	1.4	1.7	1.6
271	F	Cino juvenil	12 semanas/7mm	1.3	1.6	0.9	2.1	0.4	1.3	1.9	1.4	1.1	0.6
270	F	Cino juvenil	12semanas/7mm	1.5	1.2	1.3	0.1	1.5	0.5	2.3	3.2	0.7	0.6
269	F	Cino juvenil	18 semanas/8mm	0.6	1.1	4.1	3.0	1.2	2.1	2.6	2.1	1.0	1.1
288 simulado	F	Cino juvenil	12 semanas/0mm	-3.1	-0.8	-3.3	-1.6	-0.5	0.8	1.4	1.4	0.5	1.3
273 cont	F	Cino juvenil	6 semanas/0mm	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
272 cont	F	Cino juvenil	12 semanas/0mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

An, Anterior; Pos, posterior; Mx, superior; Md, inferior; R a R, ramo a ramo; Pg a Pg, pogônio a pogônio; cont, controle.

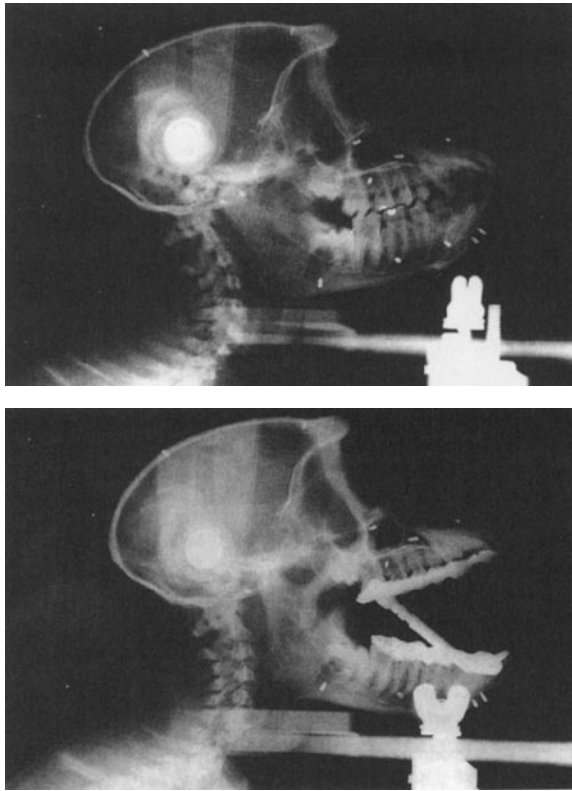


FIGURA 3 - Radiografias de animal experimental demonstrando implantes metálicos e restaurações com amálgama. A. posição fechada e B. posição amplamente aberta.

músculo-osso detalhados nos períodos controle e experimental no mesmo animal. Diversos de nossos estudos pilotos anteriores (e grandes amostras em investigações similares) demonstraram significativa modificação condilar e da fossa glenóide durante o período experimental. Isso indicou que uma amostra grande na dentadura mista geralmente não era justificável para objetivos estatísticos, e, portanto, por razões éticas, isto foi evitado. Devido às taxas mais rápidas de crescimento em primatas em comparação aos seres humanos, decidimos colocar 3 animais no período experimental de 12 semanas; isto correlaciona-se com aproximadamente 6 meses de tratamento com o Herbst em seres humanos. O progresso real de formação óssea também foi investigado em 1 animal em 6 semanas e outro em 18 semanas. A tabela mostra a duração do controle, controle simulado e períodos experimentais e a quantidade de ativações.

Os implantes metálicos foram posicionados no

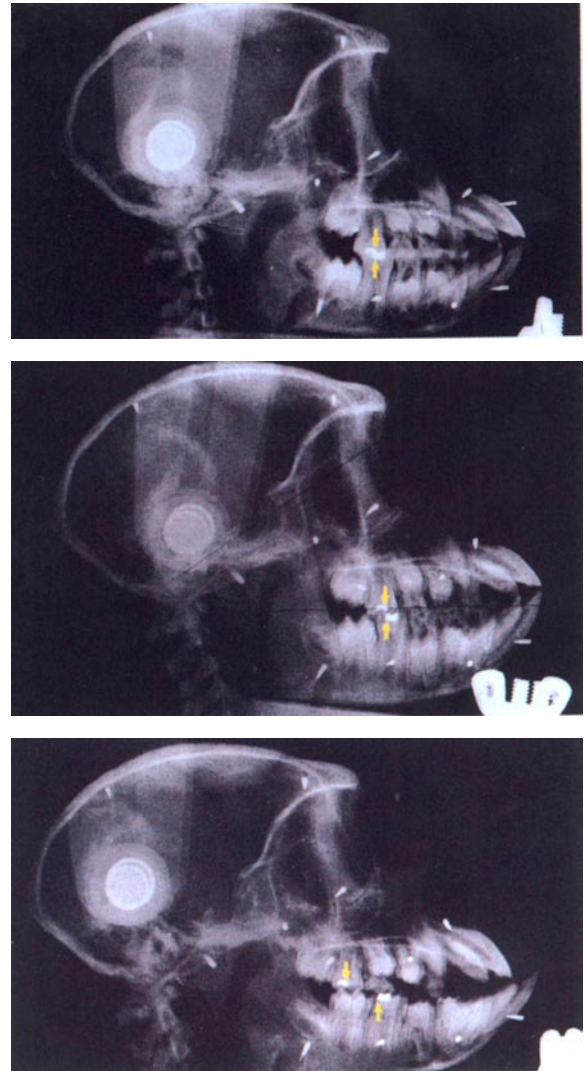


FIGURA 4 - Radiografias de animais controle e experimental demonstrando as relações esqueléticas e dentárias com a mandíbula manipulada em relação cêntrica sob anestesia geral. Observe as restaurações com amálgama (flechas) em A. início do período controle; B. final do período controle; C. final do período experimental (separadas aproximadamente 7mm).

lado esquerdo dos maxilares, crânio e base craniana de acordo com o método de Björk utilizado previamente em seres humanos⁴². As restaurações de amálgama foram colocadas nas superfícies oclusais dos primeiros molares permanentes³⁹ para facilitar a sobreposição e a mensuração de cefalogramas tomados em relação cêntrica (Fig. 3). Um posicionador de cabeça de acrílico feito sob medida foi preparado para cada animal para garantir uma posição reproduzível da cabeça duran-

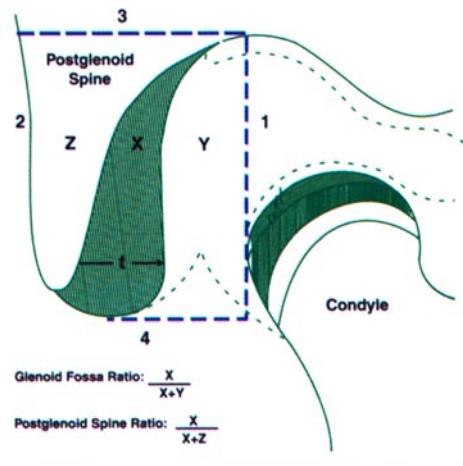
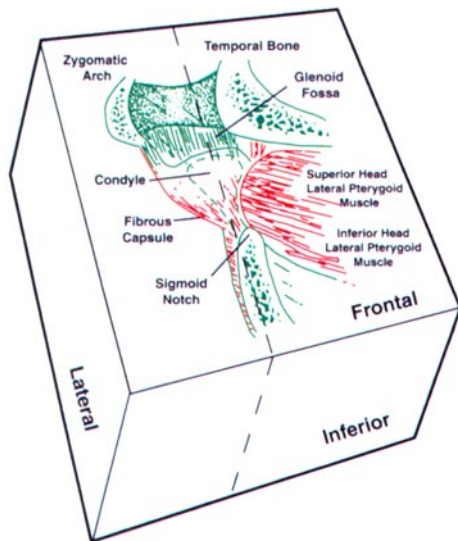


FIGURA 5 - Avaliações histológicas. A. Secção médio sagital da cabeça condilar. A linha pontilhada demonstra o plano através da secção médio sagital do côndilo e da espinha pós-glenóide (fossa glenóide). B. Parâmetros de análise morfométrica de secções descalcificadas. X, Novo osso formado no aspecto anterior da espinha pós-glenóide "original" (Z); Y, espaço entre o côndilo e a fossa ocupado pelos tecidos retrodisciais. 1. Tangente vertical tocando a área de osso novo no côndilo e paralelo ao longo eixo da espinha pós-glenóide remodelada; 2. extremidade posterior da espinha pós-glenóide; 3. extremidade horizontal superior, perpendicular a 1 e originada na intersecção de 1 e do primeiro ponto de contato do teto da fossa glenóide anteriormente e finalizando na espinha pós-glenóide; 4. extremidade horizontal inferior, perpendicular à tangente vertical e tocando a maior parte do ponto inferior de nova formação óssea da espinha pós-glenóide; t, espessura horizontal máxima de osso que se aproximou do plano oclusal; t mensurado em mm; todas as outras mensurações em mm2.

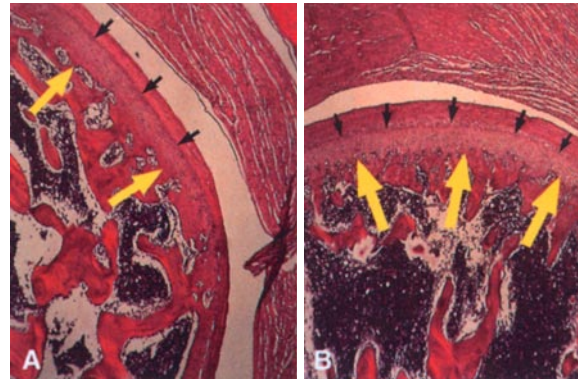


FIGURA 6 - Fotomicrografias da secção descalcificada central (7 microns) de côndilo corado com hematoxilina e eosina. Ampliação original, 10X. A. animal controle #273, demonstrando a camada condroblástica e a região plana de formação óssea endocondral sob a camada condroblástica (flechas amarelas). B. animal experimental com 12 semanas com avanço mandibular do Herbst. Observe os numerosos processos semelhantes a um dedo de nova formação óssea de côndilo deslocado (flechas amarelas) e a camada pré-condroblástica fina, escura e ativa (flechas pretas pequenas).

te a cefalometria seriada. Um filme no-screen no itálico de granulação (Kodak XAR-2, Rochester, NY) utilizado em 80 kV(p) e 15 mA com um período de exposição de 10 segundos, produziu uma resolução radiográfica de excelente qualidade. As radiografias e os modelos de estudo ortodônticos foram confeccionados para todos os animais no início do período de controle, no início e final do período experimental, e após a remoção do aparelho (Fig. 4).

Os aparelhos Herbst-block foram colados nos dentes dos indivíduos experimentais e controle simulado e deixados em um estado inativo durante 10 dias. Subseqüentemente, o avanço mandibular lento e progressivo foi alcançado adicionando-se stops com aproximadamente 1.0 mm de largura aos braços telescópicos em intervalos de 10 a 15 dias. A ativação total alcançada foi de aproximadamente 5.0mm no indivíduo de 6-semanas, 7.0 mm nos indivíduos de 12 semanas, e 8.0 mm no indivíduo com 18 semanas de idade (Tab. 1).

ANÁLISE CEFALOMÉTRICA

Um sistema de coordenada padrão^{14,38} foi utilizado para mensurar o tamanho e as alterações esqueléticas posicionais com relação à base craniana e às alterações dentárias na maxila e na mandíbula. Os implantes metálicos foram utilizados para a

sobreposição individual da maxila e da mandíbula. Embora muitas mensurações das alterações ósseas e dentárias tenham sido realizadas, este estudo relata as sobreposições sobre a base craniana na tabela 1 (observe a Parte 2 para detalhes adicionais).

Os estudos de erro demonstraram um nível aceitável de precisão avaliada a partir de resultados similares inter-operador relatados por 3 operadores. Esse nível de precisão foi alcançado por meio da sobreposição de implantes metálicos em traçados sucessivos e nas mensurações subsequentes de alterações horizontais e verticais entre os indivíduos.

AVALIAÇÃO HISTOLÓGICA

As secções sagitais medianas descalcificadas do côndilo e da fossa glenóide foram examinadas e analisadas histomorfometricamente (Fig. 5). As ATMs foram do lado direito foram armazenadas em formalina tamponada neutra a 10% e, em seguida, descalcificadas em uma solução 1:1 de ácido fórmico 45% e citrato de sódio, a 20% trocado a cada dois dias durante 21 dias. Aproximadamente 120 secções descalcificadas, seriadas uniformes (7 microns de espessura) foram obtidas das articulações com uma unidade estereotática para seccionamento paralelo preciso. Do ponto de vista frontal e coronal, as secções Antero-posteriores permaneceram de forma consistente perpendiculares ao longo eixo da cabeça condilar e através do centro da espinha pós-glenóide. Os tecidos dos indivíduos controle e experimental foram corados com hematoxilina e eosina (Figs. 6 e 7) para exibir os osteoblastos, o osteóide, o osso composto, a reabsorção e as linhas de repouso. Safranina O e toluidina azul também foram utilizadas para examinar tanto a cartilagem quanto o osso.

As secções foram examinadas com um microscópio Orthomat (Leitz, Wetzler, Alemanha) e fotografadas com um filme daylighty de 25 Kodachrome (Kodak) com filtros de correção. A luz polarizada foi adicionada às lâminas para enfatizar as áreas de nova formação óssea e para delinear as diferenças na densidade e organização entre o osso jovem e o maduro.

Foi importante lembrar, enquanto analisávamos as modificações visíveis do crescimento da fossa glenóide, que essa região anatômica cresce

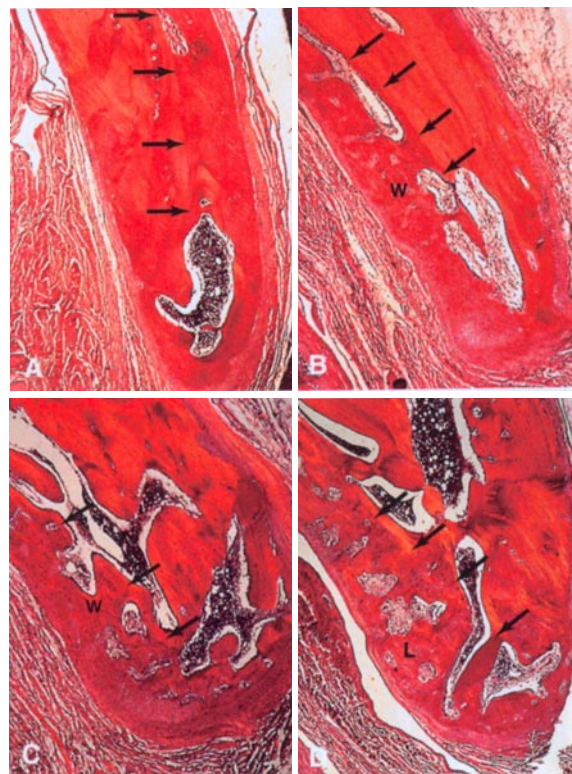


FIGURA 7 - Fotomicrografias da secção médio sagital descalcificada da fossa glenóide, mostrando as espinhas pós-glenóides; correção com hematoxilina e eosina, ampliação original de 10.5X. A. Animal controle #273, as flechas demonstram a direção de crescimento natural para trás e para baixo. B. animal experimental #271 com 12 semanas, as flechas mostram o crescimento para frente (reverso da direção natural de crescimento) e para baixo. C. animal experimental #270 com 12 semanas de idade, as flechas demonstram o crescimento para frente e para baixo. D. animal experimental #269 com 18 semanas, as flechas mostram o crescimento para frente e para baixo. Observe que a linha de repouso (flechas) direciona-se para a região posterior da espinha pós-glenóide no controle (A), indicando formação óssea normal sobre o aspecto posterior da espinha pós-glenóide enquanto a fossa cresce para baixo e para trás. Ao contrário, as linhas de repouso são visíveis em direção à região anterior da espinha pós-glenóide em animais experimentais com 12 semanas (B e C), indicando o início de nova formação óssea na direção anterior. Linha de repouso anterior também detectada em animal experimental com 18 semanas de idade (D). Observe o osso composto (W) em animais experimentais com 12 semanas. Osso lamelar (L) observado em um período mais longo em animal experimental com 18 semanas.

tipicamente para baixo e para trás. O crescimento médio para baixo e para trás da fossa foi considerado aditivo à modificação positiva de crescimento observada na fossa microscopicamente (Fig. 8).

As secções não descalcificadas com coloração vital foram obtidas como a seguir. Injetou-se em cada indivíduo 15mg/kg de tetraciclina por via intravenosa a cada 6 semanas (soro meia-vida, 10 horas). A dosagem aproximou-se dos limites utilizados para crianças submetidas à terapia intra-

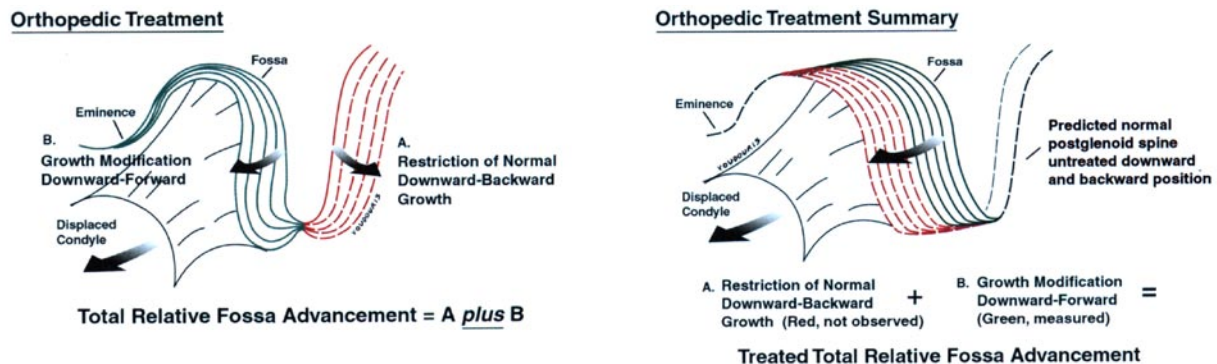


FIGURA 8 - A. Ilustração dos resultados na Fig. 7. As linhas verdes demonstram o crescimento para frente e para baixo em animais experimentais. O crescimento natural (vermelho) foi restrito durante o período experimental em uma direção para baixo e para trás. As linhas verdes são visíveis enquanto as linhas vermelhas não são diretamente visíveis em histologia ou radiografia. B. A restrição do crescimento natural para trás deve ser cumulativo ao crescimento para frente observado da fossa.

venosa com tetraciclina (10 mg/kg intravenosa todo dia; soro meia-vida, 9 horas). A orientação do seccionamento estereotático foi consistente com as seções descalcificadas (acima). A ATM do lado esquerdo de todos os animais foram desidratadas e envolvido em um meio de baixa viscosidade. Uma unidade estereotática histológica com um osteótomo foi utilizada para produzir 12 secções paralelas, seriadas com 100 microns de espessura. As fotografias foram obtidas com um filme daylight Ektachrome 200 (Kodak) utilizando-se o microscópio fluorescente Orthomat e luz ultravioleta com filtros de correção para produzir o contraste para a deposição da tetraciclina intravenosa com aumentos de 1X, 2.5 X, 3X, 10X e 25X (Parte 2).

A análise morfométrica da nova formação óssea na fossa glenóide foi finalizada a partir de 3 preparações histológicas das secções descalcificadas. Essas preparações foram obtidas a partir das secções médio sagitais do terço médio da ATM de cada animal com base no delineamento claro da cabeça condilar e da espinha pós-glenóide. Um microscópio ótico Leitz integrado a um digitalizador computadorizado, um computador, e o software Sistema IV Bioquant (Bioquant Image Analysis Corp, Nashville, Tenn) foram utilizados para se obter os dados histomorfométricos.

Os parâmetros para a análise histomorfométrica estão demonstrados na Figura 5B. A área marcada com X indica o novo osso formado no aspecto anterior da espinha pós-glenóide "original" (marcada com Z). Três operadores mensuraram todas

as variáveis histomorfométricas em um modelo cego utilizando 3 preparações de lâmina histológica. A média foi calculada para todos os 6 valores para cada variável, cada indivíduo e cada investigador. Observou-se um alto grau de precisão para os estudos de erro intraoperador e interoperador da análise histomorfométrica.

TÉCNICA ELETROMIOGRÁFICA

Dois animais controle e 2 dos animais experimentais com 12 semanas apresentavam eletrodos EMG permanentes implantados cirurgicamente nas cabeças superior e inferior dos músculos pterigóideos laterais, masseter superficial, músculos digástricos anteriores para monitorar a atividade postural EMG durante os períodos controle e experimental (Fig. 9). A dissecação aberta foi utilizada para implantar os eletrodos e garantir que fossem posicionados nos locais corretos. Após o experimento as posições dos eletrodos foram novamente confirmadas nos músculos por meio da dissecação antes do sacrifício e autópsia.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os coeficientes de correlação entre o tempo de tratamento, a área e a espessura máxima da nova formação óssea obtida por meio da análise histomorfométrica foram calculados. Uma análise não paramétrica U de Mann-Whitney foi utilizada para verificar as diferenças na quantidade de nova formação óssea da fossa glenóide em indivíduos tratados e não tratados.

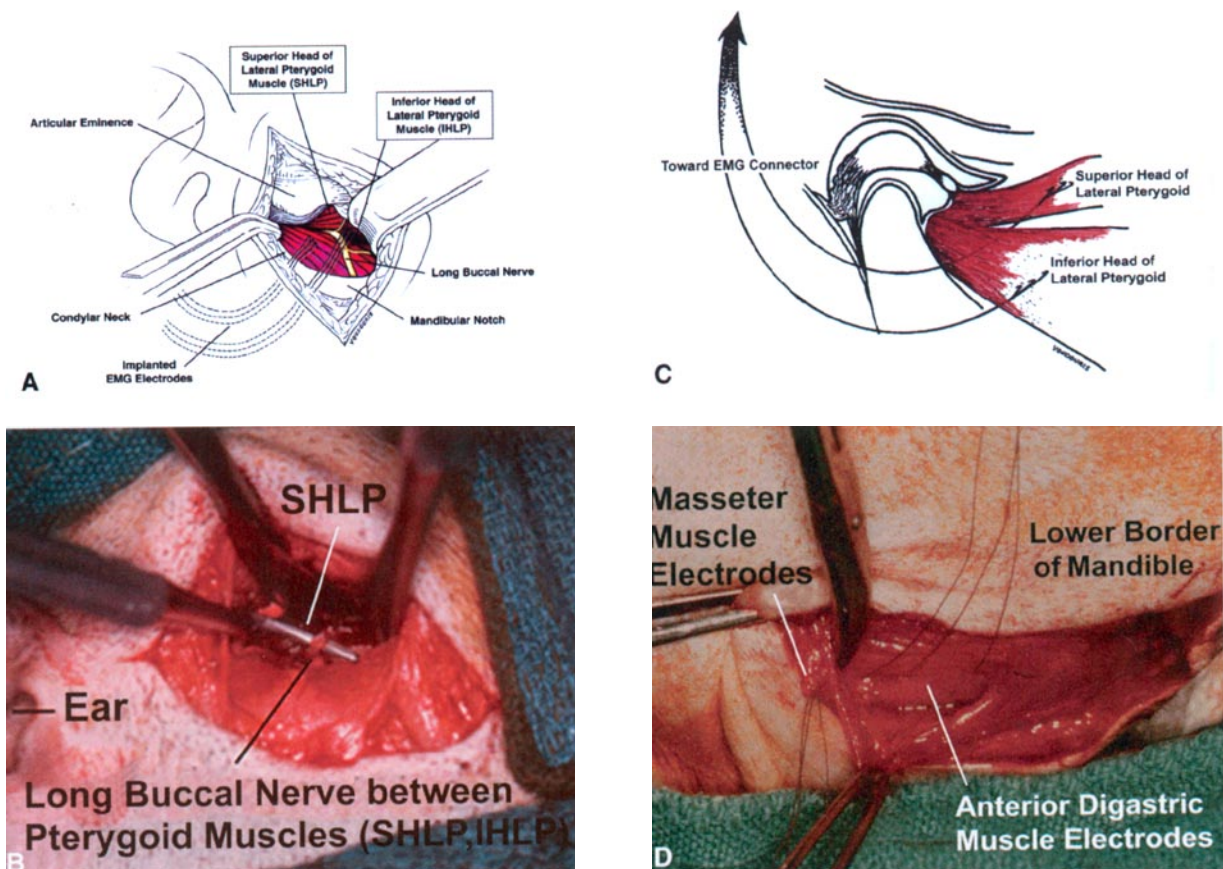


FIGURA 9 - Desenhos e fotografias de músculos e inserção de eletrodos. A. Diagrama de exposição cirúrgica dos músculos pterigóideos laterais superior e inferior. Um extenso nervo bucal separa a cabeça superior e inferior do músculo para a identificação precisa do músculo e a inserção do eletrodo. B. A incisão próxima ao arco zigomático é anterior à cápsula da ATM e próxima ao processo coronóide, para evitar a paralisia do nervo facial. C. 3 eletrodos posicionados em cada uma das cabeças superior e inferior dos músculos pterigóideos laterais e inseridos sob a derme, atrás da orelha, e acima do relé da EMG. A atividade muscular EMG foi registrada conectando-se no relé. D. Músculos masseter superficial e digástrico anterior, expostos na borda inferior da mandíbula e no ponto "notch" antegoniaco. Três eletrodos foram inseridos em cada grupo muscular.

As análises estatísticas de alteração foram realizadas com relação à atividade postural e funcional EMG previamente relatada com a protrusão mandibular. Essas interações músculo-osso foram avaliadas em primatas em fase de crescimento comparadas com estudos anteriores de primatas adolescentes²⁹.

RESULTADOS

A direção para baixo e para trás do crescimento da fossa glenóide⁴³ nos animais controle foi confirmada por meio de secções histológicas. Uma área de osso recentemente formado no animal controle sugeria estar claramente demarcada na região posterior da espinha pós-glenóide (Fig.

7, A). As secções histológicas dos animais experimentais com 12 e 18 semanas demonstraram uma linha reversa (Fig. 7, B,C,D). Isto indicou uma modificação média de crescimento em uma direção inferior e anterior. Aproximadamente 1.2 mm de nova formação óssea era paralela ao plano oclusal nos animais experimentais com 12 semanas (Fig. 7, B, C).

Avaliamos todas as alterações na fossa e levamos em consideração as direções e quantidades de crescimento diferentes (o crescimento controle e a modificação de crescimento experimental). A contribuição desses dois fatores pode ser adicionada à alteração geral na fossa glenóide. A formação óssea em toda a fossa também foi observada

acima da altura da eminência articular. Essa nova formação óssea ocorreu muito distante da inserção dos tecidos retrodiscais distendidos provavelmente através da força de transdução. Os resultados quantitativos da análise histomorfométrica de nova formação óssea estão relatados na Parte 2.

DISCUSSÃO

Buschang e Santos-Pinto⁴⁴ detectaram que a fossa glenóide em seres humanos em fase de crescimento cresceu para trás entre 1.8 e 2.1 mm em um período de 4 anos. Esse crescimento natural para baixo e para trás, observado tanto em seres humanos^{43,44} quanto em primatas, com base nos resultados histológicos, sugeriram estar restrito após a inserção do aparelho Herbst. A restrição de crescimento é comum com a terapia com a ancoragem extrabucal de tração alta. A restrição de crescimento na fossa frequentemente não é visível clinicamente ou aparente. Isto pode explicar por que algumas vezes os profissionais são duramente pressionados a responderem sobre o que exatamente contribuiu para as correções significantes de Classe II com aparelhos ortopédicos.

Essa restrição do crescimento para trás da fossa pode ser considerada uma correção de crescimento relativo adicional visto que a fossa glenóide cresce para baixo e para trás em indivíduos controle não tratados. A restrição de crescimento da fossa glenóide e a modificação de crescimento produzida pela terapia com o Herbst (indicado pelas linhas reversas histologicamente) coincidiram durante o crescimento geral da face.

CONCLUSÕES

Um método amplo foi apresentado para o clínico observar e quantificar o papel da atividade muscular na formação óssea do côndilo e da fossa glenóide durante o tratamento com o Herbst. Tentamos aprimorar estudos anteriores combinando diversos métodos avançados, incluindo a implantação permanente de eletrodos EMG, a histomorfometria computadorizada da formação óssea, a coloração intravenosa com tetraciclina, e a cefalometria de Björk. Esses métodos nos permitiram as seguintes conclusões:

1) A fossa glenóide cresce histologicamente em uma direção para baixo e para trás em prima-

tas controle (semelhante ao crescimento em seres humanos), confirmando os resultados de estudos radiográficos anteriores^{43,44}.

2) O tratamento com o Herbst produziu formação óssea significativa na fossa glenóide. Isto foi mensurado com uma linha paralela ao plano oclusal, obtendo-se uma média de 1.2 mm nos animais experimentais com 12 semanas. O novo osso cresceu em uma direção para baixo e para frente. Isto diferiu do crescimento para baixo e para trás em indivíduos controle. As alterações de crescimento restritas e reversas na fossa podem ser consideradas cumulativas. Esse efeito adicional pode ser significativo visto que as alterações de crescimento afetam alterações horizontais paralelas ao plano oclusal. O crescimento restrito da fossa para trás adicionado ao crescimento anterior experimental da fossa iguala-se à modificação total da fossa glenóide para a frente.

Essa pesquisa também pode sugerir como a reabsorção condilar e o deslocamento do disco podem ser evitados. Na Parte 2, oferecemos uma discussão mais abrangente sobre as implicações desses resultados.

Os autores agradecem os Drs. Aaron Posen, Barry Sessle e Jay Fogarty pelo seu apoio e encorajamento.

REFERÊNCIAS

1. CHARLIER JP, PETROVIC A, HERMAN-STUTZMANN JJ. The effect of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of the young rat condyle. *Am J Orthod* 1969;55:71-4.
2. MCNAMARA JA. Neuromuscular and skeletal adaptations to altered orofacial function in the orofacial region. *Am J Orthod* 1973;64:578-606.
3. JOHNSTON LE Jr. Functional appliances: a mortgage on mandibular position. *Austr Orthod J* 1996;14:154-7.
4. VOUDOURIS JC, KUFTINEC MM. Improved clinical use of Twin-block and Herbst as a result of radiating viscoelastic tissue forces on the condyle and fossa in treatment and long-term retention: growth relativity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:247-66.
5. JOLLY M. Condylectomy in the rat. An investigation of the ensuing repair process in the region of the temporomandibular articulation. *Aust Dent J* 1961;65:243-56.
6. POSWILLO DE. The late effects of mandibular condylectomy. *Oral Surg Oral Med Oral Path* 1972;33:500-12.
7. SPRINZ R. Healing in the fractures of the neck of the mandible in rats with detachment of the lateral pterygoid muscles. *Arch Oral Biol* 1970;15:1219-29.

8. LINDAHL L, HOLLENDER L. Condylar fractures of the mandible. A radiographic study of the remodeling processes in the temporomandibular joint. **Int J Oral Surg** 1977;6:153-65.
9. KANTOMAA T. Effect of increased upward displacement of the glenoid fossa on mandibular growth. **Eur J Orthod** 1984;6:183-91.
10. ECKERDAL O, SUND G, ASTRAND P. Skeletal remodeling in the temporomandibular joint after oblique sliding osteotomy of the mandibular rami. **Int J Oral Maxillofac Surg** 1986;15:233-9.
11. CARLSSON G, OBERG T. Remodeling of the temporomandibular joint. In: ZARB GA, CARLSSON G, editors. **Temporomandibular joint function and dysfunction**. St. Louis: C. V. Mosby; 1979. p.155-74.
12. BREITNER C. Further investigation of bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. **Am J Orthod Oral Surg** 1941;27:605-32.
13. MONGINI F. Condylar remodeling after occlusal therapy. **J Prosthet Dent** 1980;43:568-77.
14. VONDOURIS JC. **Glenoid fossa and condylar remodeling following progressive mandibular protrusion in the juvenile Macaca fascicularis**: a computerized histomorphometric, cephalometric and electromyographic investigation [thesis]. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto; 1988.
15. WIESLANDER L. Intensive treatment of severe Class II malocclusions with a headgear-Herbst appliance in the early mixed dentition. **Am J Orthod** 1984;86:1-13.
16. WIESLANDER L. Long-term effects of treatment with the headgear-Herbst appliance in the early mixed dentition. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1993;104:319-29.
17. BREITNER C. Bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. **Am J Orthod Oral Surg** 1940;26:521-47.
18. BAUME L, Derischweiler H. Is the condylar growth centre responsive to orthodontic therapy? An experimental study in Macaca mulatta. **Oral Surg Oral Med Oral Path** 1961;14:347-62.
19. ADAMS C, MEIKLE M, NORWICK K. Dentofacial remodeling by intermaxillary forces in Macaca mulatta. **Arch Oral Biol** 1972; 17:1519-35.
20. JOHO JP. The effects of extraoral low-pull traction to the mandibular dentition of Macaca mulatta. **Am J Orthod** 1973;64:555-77.
21. STOCKLI P, WILLERT H. Tissue reactions in the TMJ resulting from anterior displacement of the mandible in the monkey. **Am J Orthod** 1971;60:142-55.
22. HINTON RJ, MCNAMARA JA. Temporal bone adaptations to protrusive function in juvenile and young adult monkeys Macaca mulatta. **Eur J Orthod** 1984;6:155-74.
23. HINIKER JJ, RAMFJORD SP. Anterior displacement of the mandible in the adult rhesus monkey. **J Prosthet Dent** 1966;16:503-12.
24. LIEB G. Application of the activator in the rhesus monkey. **Eur Orthod Soc** 1968;44:141-6.
25. PAYNE G. The effect of intermaxillary elastic force on the temporomandibular articulation in the growing macaque monkey. **Am J Orthod** 1971;60:491-504.
26. BAUME LJ, HAUPL K, STELLMACH R. Growth and transformation of the temporomandibular joint in an orthopaedically treated case of Pierre Robin's syndrome. **Am J Orthod** 1959;45:901-16.
27. DAHAN J, DOMBROWSKY KJ, OEHLER K. Static and dynamic morphology of the temporomandibular joint before and after functional treatment with the activator. **Trans Eur Orthod Soc** 1969;255-74.
28. BIRKEBAEK L, MELSEN B, TERP S. A laminagraphic study of the alteration in the temporomandibular joint following activator treatment. **Eur J Orthod** 1984;6:257-66.
29. WOODSIDE DG, ALTUNA G, HARVOLD E, HERBERT M, METAXAS A. Primate experiments in malocclusion and bone induction. **Am J Orthod** 1983;83:460-8.
30. PANCHERZ H. Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. **Am J Orthod** 1979;76:423-42.
31. BAKKE M, PAULSEN HU. Functional and morphological effects of Herbst appliance in late adolescence [abstract]. **Eur Orthod Soc**. Institute of Oral Function, Royal Dental College and Municipal Dental Care: Copenhagen, Denmark; 1987.
32. RUF S, PANCHERZ H. Temporomandibular joint remodeling in adolescents and young adults during Herbst treatment: a prospective longitudinal magnetic resonance imaging and cephalometric radiographic investigation. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1999;115:607-18.
33. SARNAS KV, PANCHERZ H, RUNE B. Hemifacial microsomia treated with the Herbst appliance. Report of a case analyzed by means of roentgen stereometry and metallic implants. **Am J Orthod** 1982;82:68-74.
34. MCNAMARA JA, CARLSON D. Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function. **Am J Orthod** 1979;76:593-611.
35. BOURQUE PJ. **Effects of functional appliances on jaw muscle activity in Macaca fascicularis** [thesis]. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto; 1987.
36. SESSLE BJ, WOODSIDE DG, BOURQUE P, GURZA S, POWELL G, VONDOURIS JC, et al. Effect of functional appliances on jaw muscle activity. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1990;98:222-9.
37. ALTUNA G. **The effects of excess occlusal force on the eruption of the buccal segments and maxillary and mandibular growth direction in the Macaca monkey** [thesis]. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto; 1979.
38. MCNAMARA JA, CONNELLY TA, MCBRIDE MC. Histologic studies of temporomandibular joint adaptations. In: MCNAMARA JA Jr, editor. **Determinants of mandibular form and growth**. Monograph No. 4. Craniofacial Growth Series. Ann Arbor: Center for Human Growth and Development; University of Michigan; 1975.
39. HUCHINSON LG. **Herbst appliance therapy in adolescent children**: stability of skeletal and dental adaptations [thesis]. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto; 1982.
40. STRELZOW AB. **Herbst appliance therapy**: its effect on the structure and function of the temporomandibular joint in adolescent children [thesis]. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto; 1985.
41. WOODSIDE DG, VONDOURIS JC, ALTUNA G, METAXAS A. The facemask in primate research. **Am Assoc Lab Anim Sci** 1983; 33:600-2.
42. BJORK A. Variations in the growth pattern of the human mandible. Longitudinal radiographic study by the implant method. **J Dent Res** 1963;42:400-II.
43. POPOVICH F, THOMPSON GW. Craniofacial templates for orthodontic case analysis. **Am J Orthod** 1977;77:406-20.
44. BUSCHANG PH, SANTOS-PINTO A. Condylar growth and glenoid fossa displacement during childhood and adolescence. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1998;113:437-42.

Endereço para correspondência

John C. Vondouris, 2300 Yonge Street, Suit 707, Toronto, Ontario, Canada M4P 1E4; e-mail jvoud@pathcom.com