



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

OCTÁVIO HENRIQUE CARMONA OCAÑA DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE A MAGNITUDE DA FORÇA
ORTODÔNTICA APLICADA E A TAXA
DE MOVIMENTAÇÃO DENTÁRIA**

OCTÁVIO HENRIQUE CARMONA OCAÑA DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE A MAGNITUDE DA FORÇA
ORTODÔNTICA APLICADA E A TAXA
DE MOVIMENTAÇÃO DENTÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Odontologia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Baggio

Londrina
2013

OCTÁVIO HENRIQUE CARMONA OCAÑA DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE A MAGNITUDE DA FORÇA
ORTODÔNTICA APLICADA E A TAXA
DE MOVIMENTAÇÃO DENTÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Odontologia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Odontologia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Baggio
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Luiz Sérgio Carreiro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 07 de Novembro de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais por todo carinho e cuidado a mim e aos meus irmãos dedicados, por me apoiarem e acreditarem em meu sonho de se tornar um cirurgião-dentista.

Octávio dos Santos

Josefa Carmona Ocaña dos Santos

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me ceder o dom da vida, por me oferecer uma família maravilhosa, por estar ao meu lado em todos os momentos, conduzindo minha caminhada neste mundo cheio de incertezas, por me utilizar como instrumento para fazer o bem ao próximo e pelo privilégio de poder cursar um Ensino Superior.

Aos Meus pais, Octávio dos Santos e Josefa Carmona Ocaña dos Santos, por me ofertarem todo amor, carinho e dedicação necessários para a minha formação humana, por serem exemplos de honestidade, de bom caráter e humildade e por acreditarem nos meus sonhos. Amo incondicionalmente e me orgulho de vocês. Nunca serei culpado por difama-los e serei eternamente grato por tudo.

Aos meus irmãos, Ana Heloisa Carmona Ocaña dos Santos e Marcos Emmanuel Carmona Ocaña dos Santos, pela Amizade e companheirismo, por serem essenciais em minha formação como pessoa e por acreditarem em meus sonhos. Amo Vocês e espero estarmos juntos até o fim de nossas vidas.

À minha amiga e namorada Bruna Maria Badan Rodrigues, pela amizade, pelo companheirismo e pela cumplicidade. Por estar ao meu lado nos momentos de alegria e também nos momentos de dificuldade me ofertando um pilar emocional extremamente importante para o alcance deste sonho e por me ajudar a ser um ser humano melhor. Obrigado por todo amor e carinho a mim depositado.

Aos pais da Bruna, Aparecido Antônio Rodrigues e Shirlei Aparecida Badan Rodrigues, por me aceitarem como namorado de sua filha, por me tratarem como “filho” e por representarem para mim, uma extensão familiar na ausência de meus pais, durante os dois últimos anos de minha graduação. Obrigado pelo carinho e por torcerem por meu sucesso profissional.

Ao Dr. Sílvio Rosan de Oliveira, meu Ortodontista, figura ao qual, através de seu trabalho Digno e competente despertou em mim o interesse por essa profissão maravilhosa que é a Odontologia. Saiba, que o seu trabalho mudou todos os dias da minha vida.

À Universidade Estadual de Londrina, por me proporcionar a realização deste sonho e por me oferecer uma formação profissional de muita qualidade, para que eu possa retribuir a sociedade, todo o investimento a mim destinado pelo Estado do Paraná.

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Baggio, figura a qual, sua ajuda foi fundamental para a concretização desse trabalho. Agradeço-lhe pela orientação e por ser paciente e prestativo sempre que preciso. Por não fazer distinção de pessoas, pois, aceitou me orientar sem mesmo me conhecer como aluno. Por ser um profissional exemplar, exemplo de ética profissional e comprometimento com seus pacientes e orientados. Por ser um exímio Professor, transmitindo seu conhecimento sem negar informação e sempre preocupado com nossa formação.

Ao Prof. Dr. Luís Sérgio Carreiro, por ter aceitado o convite para ser banca examinadora deste trabalho, figura ao qual, tenho muita admiração por seu conhecimento na área de Ortodontia e por ser um Excelente professor. A todos os professores e pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente à minha formação profissional.

A todos os pacientes que passaram por minha responsabilidade durante esses cinco anos de graduação. Vocês foram muito importantes em minha formação.

A todos os funcionários da Universidade Estadual de Londrina, por através de vossos trabalhos, gerarem condições para que eu pudesse aprender minha futura profissão.

Aos Amigos verdadeiros que fiz durante a faculdade, Bruno Shindi Hirata, Eduardo Freitag de Souza e Pedro da Cunha Pinto Netto, pela valiosa amizade e companheirismo e pela contribuição direta e indireta para a conclusão deste trabalho. Amigos são irmãos que escolhemos, por isso, guardarei cada um de vocês em meu coração para o resto de minha vida. Muito obrigado por tudo.

EPÍGRAFE

“O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza de seus sonhos.”
Eleanor Roosevelt

DOS SANTOS, Octávio Carmona Ocaña. **Relação entre a magnitude da força ortodôntica aplicada e a taxa de movimentação dentária**. 2013. 51 folhas. Trabalho de Conclusão do Curso de Odontologia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

RESUMO

A movimentação ortodôntica é o resultado de fatores biológicos em resposta a interferência no equilíbrio fisiológico do complexo dentofacial por uma força externamente aplicada. A relação entre a movimentação dentária e a magnitude de força aplicada tem sido discutida e ainda pairam dúvidas sobre este assunto. Sendo assim, o presente estudo visa, através de uma revisão da literatura, evidenciar aspectos importantes da relação entre a magnitude de força ortodôntica e a da movimentação dentária induzida. Pode-se concluir que, o movimento dentário ortodôntico ocorre não apenas em função da magnitude de força aplicada, mas sim, pela resposta biológica por ela gerada no periodonto. Além disso, tanto as forças de baixa, quanto as de elevada magnitude, são capazes de desencadear o movimento dentário induzido, porém, as de baixa magnitude, são consideradas mais biológicas e parecem produzir um movimento dentário de melhor qualidade. Já a dor provocada pelo tratamento ortodôntico ocorre, tanto pela aplicação de forças de baixa, quanto de elevada magnitude, sua intensidade é proporcional à magnitude de força aplicada e é influenciada pela variação individual de cada paciente.

Palavras-chave: 1. Magnitude de força 2. Movimento dentário

DOS SANTOS, Octávio Carmona Ocaña. **Relationship between orthodontic force magnitude and rate changes applied dental**. 2013. 51 folhas. Trabalho de Conclusão do Curso de Odontologia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013

ABSTRACT

The orthodontic movement is the result of biological factors in response to interference dentofacial complex physiological equilibrium by a force externally applied. The relationship between tooth movement and the magnitude of the applied force has been discussed and maintain doubts about this subject. Thus, this study aims, by a literature review, highlighting important aspects of the relationship between the magnitude of orthodontic force and the tooth movement induced. It can then be concluded that the orthodontic tooth movement occurs not only in terms of the magnitude of the applied force , but the biological response generated by it in the periodontium . In addition, both low forces, as the high magnitude, are able to initiate the tooth movement, however, the low magnitude are considered more biological and seem to produce better dental movement. However the pain caused by orthodontic treatment occurs by both the application of low forces and the high magnitude, the intensity is proportional to the magnitude of the applied force and is influenced by variation of the individual patient .

Key words: 1. Magnitude of force 2. Tooth movement

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores numéricos de forças ótimas para o movimento dentário.....16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mm	milímetro
g	grama
cN	centínewton
gF	grama-força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
3	DISCUSSÃO.....	40
4	CONCLUSÃO	46
5	REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A Ortodontia é definida como o ramo da odontologia relacionado com o estudo do complexo craniofacial, com o desenvolvimento da oclusão e com o tratamento das anomalias dentofaciais. A terapêutica ortodôntica está dirigida para o tratamento da má oclusão, para intervir no crescimento anormal do complexo craniofacial e para corrigir a má função da neuromusculatura orofacial. O tratamento ortodôntico pode utilizar muitos procedimentos, embora o mais frequente seja o posicionamento preciso dos dentes individualmente com a utilização de aparelhagem ortodôntica⁶. Este fenômeno só é possível devido à aplicação de forças no elemento dental que o induz ao movimento, permitindo então, que o ortodontista o reposicione em uma posição mais funcional e estética.

As forças biomecânicas, utilizadas na terapia ortodôntica, são definidas como forças artificiais, induzidas clinicamente, cuja energia provém principalmente de dispositivos mecânicos planejados. E a magnitude é definida sendo uma característica em escalas de quantidades vetoriais que denotam tamanhos ou quantidade em unidades físicas de medição. No contexto ortodôntico, essas definições simplificam a magnitude de força ortodôntica, sendo está, um fator ortodôntico, ao qual, possui uma relação com o movimento dentário induzido^{2, 6}.

A movimentação ortodôntica tem sido definida como resultado de fatores biológicos em resposta a interferência no equilíbrio fisiológico do complexo dento-facial por uma força externamente aplicada. A teoria clássica sobre essa interação é a teoria da pressão-tensão, que afirma que a aplicação de uma força ortodôntica gera uma pressão de um lado e tensão de outro no ligamento periodontal e com isso desencadeia respostas biológicas que levam ao movimento dentário. Desta teoria surge então, a relação entre a movimentação dentária e a magnitude de força, que deve ser estudada¹⁸.

Sendo assim, o presente estudo visa através de uma revisão da literatura, evidenciar aspectos importantes da relação entre magnitude de força ortodôntica e a biomecânica da movimentação dentária induzida, para utilização em práticas clínicas em Ortodontia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2. REVISÃO DE LITERATURA

STOREY¹² (1972) realizou um estudo sobre a natureza da movimentação dentária, e nele pode observar aspectos importantes do controle da magnitude de força em Ortodontia. Evidenciou que a hipótese da existência de uma magnitude de força ideal ou ótima, capaz de gerar uma máxima taxa de movimentação dentária, é bastante encontrada na literatura e sofre influência da idade, do gênero, de fatores hormonais entre outros fatores. Comenta que para uma força constante, a magnitude ideal varia de acordo com a área da superfície radicular de cada dente em que ela será aplicada e que sua utilização em praticas clínicas pode diminuir o tempo de tratamento. Afirma que a utilização de forças de baixa magnitude na movimentação dentária, apesar de gerar um movimento mais lento, é mais biológica e induz a formação de um osso alveolar de melhor qualidade e, por isso, o potencial de recidiva no emprego de forças de baixa magnitude é diminuído. Observou que a aplicação de forças de elevada magnitude para se obter a movimentação dentária, gera a deformação do periodonto de inserção e a formação de áreas inflamatórias agudas. Porém, o processo de remodelação tecidual obtido no emprego desta força é aceitável. Ainda, considerando as forças de elevada magnitude, quanto à distribuição da pressão por elas exercida e a ancoragem, afirma que podem gerar uma movimentação dentária relativamente normal, mas que a perda de ancoragem é facilmente encontrada. Mostra que a ancoragem sempre foi um problema no tratamento ortodôntico e que a aplicação de forças de elevadas magnitudes, pode induzir a uma reabsorção rápida do osso alveolar e que este fenômeno pode gerar uma perda de ancoragem. Complementa que na aplicação de forças de baixa magnitude, apesar de gerarem um movimento dental mais lento, geram uma ancoragem eficaz, que pode ser mantida por um longo período de tempo.

JARABAK; FIZZELL³ (1975) definem força ótima como sendo a capaz de desencadear uma atividade celular para que se produza reabsorção acelerada do osso alveolar no lado da pressão e que induza a formação óssea no lado da tensão, quando aplicada no ligamento periodontal. Relatam que uma análise biológica quantitativa absoluta dos efeitos das forças ortodônticas é praticamente impossível.

Na tentativa de determinar uma magnitude de força ótima, consideram três guias de clínicos: a dor, a mobilidade dentária e o reflexo maxilar, sendo esse o menos subjetivo. A dor é totalmente subjetiva e não pode ser usada para quantificar a grandeza da magnitude de força, pois, as pessoas possuem um alto grau de adaptação aos estímulos dolorosos. A mobilidade dentária é um bom guia clínico, porém, está sujeita ao grau de variabilidade das respostas biológicas entre um indivíduo e outro. O reflexo maxilar é o guia mais confiável na tentativa de se obter uma magnitude de força ótima, pois, este reflexo serve como um indicador preciso da tolerância sensorial no ligamento periodontal quando este é submetido à aplicação de forças ortodônticas, e é referido como um arco reflexo de proteção às estruturas do periodonto de inserção. Com base nos três guias clínicos referidos, determinaram uma possível magnitude de força ótima para movimentação de cada grupo de elementos dentais. (Tabela 1).

Dentes	Raízes curtas (g)	Raízes médias (g)	Raízes longas (g)
Incisivos mandibulares	50-55	55-65	65-70
Caninos mandibulares	85-95	95-110	110-130
Pré-molares mandibulares	70-80	80-90	90-100
Primeiros molares superiores	280-300	300-320	320-360
Incisivos superiores	65-75	75-85	85-95
Incisivos laterais superiores	60-65	65-70	70-80
Caninos superiores	105-115	115-130	130-170
Pré-molares unirradiculares	85-100	100-115	115-135
Pré-molares multirradiculares	100-110	120-130	130-140
Primeiros molares mandibulares	230-250	250-270	270-320

Tabela 1. Valores numéricos de forças ótimas para o movimento dentário.

QUINN;YOSHIKAWA¹⁰ (1985) realizaram uma revisão de literatura sobre a relação da magnitude de força e a taxa de movimentação dentária, para melhor entendê-la, pois, afirmam ser esta relação controversa. Para isto, avaliaram criteriosamente alguns artigos “chaves” sobre este assunto. Após a revisão dos artigos, afirmam que a taxa de movimentação dentária é sensível à mudanças na magnitude de força e que, para cada elemento dental existe uma magnitude de força que o movimentará em uma taxa máxima. Comentam também que a magnitude de

força por si só, não pode ser considerada um parâmetro mecânico para a movimentação dentária, e sim a tensão ou estresse gerado no ligamento periodontal em decorrência da magnitude de força aplicada. Consideram que para se entender a relação entre a magnitude de força e a movimentação dentária é imprescindível que se conheça o conceito de estresse e o definem como a força aplicada por unidade de área. Evidencia que a mesma magnitude de força aplicada em dentes diferentes, provavelmente, não implicará na mesma taxa de movimentação, pois, o estresse gerado na aplicação de uma magnitude de força varia inversamente a área sobre a qual a força é aplicada. Durante a revisão encontraram quatro hipóteses criadas na tentativa de melhor explicar a relação entre a magnitude de força e a taxa de movimento dentário. A primeira hipótese mostra uma relação constante entre a taxa de movimentação dentária e o estresse causado no ligamento periodontal em decorrência da aplicação de uma força ortodôntica na qual, afirma-se que o periodonto é sensível apenas à direção da força aplicada e não de sua magnitude. A segunda hipótese, um pouco mais complexa, cita que ocorre um aumento linear na taxa de movimentação dentária à medida que é elevada a magnitude de força aplicada. A terceira hipótese afirma que quando a taxa de movimentação dentária chega a seu nível ótimo, sob a aplicação de uma magnitude de força próxima do ideal, a elevação da magnitude de força provoca um estresse adicional no periodonto e, como consequência, ocorre um declínio na taxa de movimentação dentária. A quarta hipótese defende que, a relação entre a taxa de movimento dentário e a magnitude de força é linear até certo ponto, pois, após este ponto a elevação da magnitude de força não implicará em um aumento considerável da taxa de movimentação dentária, visto que a taxa de movimentação dentária é dependente da magnitude de força. Analisando tais hipóteses, verificaram que nenhum dos artigos sustenta a primeira hipótese. A evidenciação da relação entre a magnitude de força e a taxa de movimentação dentária proposta pela segunda hipótese não foi possível de ser observada, pois, a maioria dos artigos utiliza apenas duas magnitudes de força em seus experimentos e assim, não foram capazes de descrever como a taxa de movimentação dentária chegou ao seu máximo sob a aplicação de magnitude de forças elevadas. A análise dos artigos sugere, também, que a terceira hipótese pode não ser precisa, uma vez que uma relação do aumento da magnitude com o aumento da taxa de movimentação foi encontrada e que a quarta hipótese parece ser a mais confiável.

OWMAN-MOLL;KUIROL;LUNDGREN⁷(1996), objetivaram comparar os efeitos de duas magnitudes de força ortodônticas contínuas na movimentação dentária induzida e na reabsorção radicular. Para a realização deste experimento foram utilizados 32 pacientes, com idade média de 13,1 anos, sendo destes, 14 meninos e 12 meninas. Os pacientes foram encaminhados para tratamento ortodôntico, pois, possuíam biprotusão maxilar em que as extrações dos primeiros pré-molares bilateralmente, faziam parte do tratamento proposto, justificando assim, suas participações neste experimento. As magnitudes de força aplicadas foram de 50cN e 100cN, os períodos experimentais de 4 e 7 semanas e a movimentação ortodôntica realizada pela instalação de um aparelho fixo. A magnitude de força foi controlada e reativada semanalmente, para que não houvesse alterações no experimento. Para evidenciar a movimentação dentária foram confeccionados dois modelos de estudo em gesso, um no início do experimento e outro um pouco antes do seu final, os quais tiveram as cúspides palatinas dos dentes utilizados no experimento eram marcadas com um ponto feito a lápis, facilitando assim, a análise. Para evidenciar as reabsorções, cortes histológicos foram feitos após a extração dos dentes em 4% da amostra. Para complementar o estudo, radiografias periapicais foram tomadas antes do início da movimentação dentária e imediatamente antes das extrações dos dentes. O estudo mostrou que não houve diferença significativa na taxa de movimentação dentária induzida ortodonticamente após a aplicação de uma força com magnitude de 50cN, quando comparado com a duplicação dessa força para 100cN, quer após 4 ou 7 semanas de carregamento. Após 4 semanas, a taxa de movimentação dentária sob uma força com magnitude de 50cN, foi em média de 1,7 +/- 0,9 mm e sob uma força com magnitude de 100cN, de aproximadamente 1,5 +/- 0,7 mm. Após 7 semanas, a taxa de movimentação dentária sob uma força com magnitude de 50cN foi de aproximadamente 4,3 +/- 1,5 mm e sob uma com 100cN, de aproximadamente 4,5 +/- 1,8 mm. Pode-se observar que a taxa de movimentação dentária aumentou significativamente da quarta para a sétima semana, em ambas as magnitudes de força aplicadas. Reabsorções radiculares foram encontradas em todos os dentes utilizados no experimento sendo mais frequentes no grupo que recebeu magnitude de força de 50cN, tanto após 4 ou 7 semanas. Quando a força com magnitude de 50 cN foi aplicada, 29% das reabsorções ocorreram no terço cervical e 62% no terço apical da raiz. Após a aplicação da força com magnitude de

100cN, as reabsorções radiculares foram evidenciadas em 49% dos dentes no terço cervical e 46% no terço apical da raiz. Menos que 10% das reabsorções radiculares foram encontradas no terço médio da raiz e foram encontradas principalmente na bifurcação da raiz palatina. A severidade da reabsorção radicular encontrada, tanto em extensão, quanto em profundidade e a porcentagem de áreas e contorno das raízes reabsorvidas, nos cortes histológicos realizados, não mostraram qualquer diferença significativa após 4 ou 7 semanas, em ambas as magnitudes de força utilizadas. As variações individuais mostraram-se muito evidente tanto na taxa de movimentação dentária, quanto na taxa de reabsorção radicular. As radiografias periapicais não revelaram quaisquer reabsorções radiculares, porém, vale lembrar que o exame radiográfico é subjetivo e não deve ser utilizado isoladamente para o fechamento de um diagnóstico. Pode-se concluir então, que o aumento da magnitude de força de 50cN para 100cN levou a uma diminuição da taxa de reabsorção radicular. Esses resultados podem ser explicados por uma diferença na composição dos grupos experimentais, onde, variações individuais podem ter ofuscado os efeitos da duplicação da magnitude de força. Outra explicação mais especulativa pode ser que a magnitude de força de 100cN é muito grande para produzir reação tecidual ótima próximo à superfície dentária. Talvez o movimento dentário tenha sido conseguido por reabsorções à distância e que a reação próxima à superfície dentária foi eminente à compressão dos tecidos. Essa hipótese necessita ser mais bem estudada para que seja aceita. Analisando os resultados obtidos, concluem que as reações individuais dos adolescentes utilizados no experimento, podem ter mais influencia do que o aumento da magnitude de força ortodôntica ou a duração do período experimental, tanto na taxa de movimentação dentária, quanto na ocorrência de reabsorções radiculares.

PILON;KUIJPERS;JAGTMAN⁸ (1996) analisaram a relação entre a magnitude de força ortodôntica constante e continua e a taxa de movimentação dentária em um período de 16 semanas. Para tal, foram utilizados cães da raça *Beagle* com idades de 1 a 1,5 ano. Para a instalação do sistema de movimentação, foram realizadas extrações de pré-molares e os cães divididos em 4 grupos: um Grupo controle onde não foi aplicada força para a movimentação dentária e três Grupos onde foram aplicadas forças com magnitudes de 50,100 e 200g, respectivamente . A cada duas semanas a força dos elásticos era medida para verificar se não ocorria diminuição

das magnitudes dessas forças. Observaram que não existiram diferenças estatisticamente significantes entre os grupos de 50, 100 e 200g em nenhuma das quatro fases da movimentação dentária. Contudo, verificaram uma variação individual dentro dos Grupos, indicando que diferenças individuais de densidade óssea, metabolismo ósseo, “turnover” do ligamento periodontal podem ser determinantes. Como não encontraram diferenças estatisticamente significantes entre os Grupos, afirmam que não só com compressões altas, mas também, com compressões baixas do ligamento periodontal, o movimento dentário pode ser induzido, e que a taxa de movimentação dentária não está relacionada somente com a magnitude de força, indicando que uma relação linear entre a pressão inicial do ligamento periodontal e a taxa de movimentação dentária não pode ser observada.

BURSTONE¹(2002) comenta que, em um tratamento ortodôntico é muito comum o surgimento de dor ou desconforto ao paciente após a instalação e ativação de um aparelho. A dor é determinada pelo Sistema Nervoso Central e por mudanças locais de tecidos. Por este motivo, uma avaliação objetiva da dor se torna extremamente difícil, uma vez que indivíduos diferentes irão responder de formas diferentes ao mesmo estímulo de força, dificultando a compreensão da relação entre a magnitude de força e a dor. Em uma classificação de resposta a dor frente à ativação de um aparelho ortodôntico, três graus de respostas são encontrados. No primeiro grau o paciente não possui a consciência da dor a menos que ocorra a manipulação dos dentes que já estejam se movimentando após uma ativação ortodôntica por uma aplicação forte de pressão com um instrumento. O segundo grau de dor ocorre quando o paciente sente um desconforto durante a mastigação ou quando ocorre o pressionamento dos dentes. Já o terceiro grau ocorre quando a dor surge espontaneamente ou quando o paciente se torna incapaz de mastigar alimentos de consistência normal. Em decorrência do tempo de aplicação de forças, dois tipos de dor são encontrados: imediata e tardia. A resposta imediata acontece quando o dente recebe uma força pesada repentinamente. A instalação de elásticos em cadeia entre incisivos separados produz uma reação de dor aguda que diminui de intensidade com o passar do tempo, podendo ser exemplificada com sendo uma dor imediata. Já a resposta tardia pode ser evidenciada após algumas horas de um ajuste ortodôntico. Ela ocorre devido à hiperalgesia do ligamento periodontal e pode ser causada por forças leves ou pesadas e diminui o grau de resposta à medida que

o tempo passa acrescenta que a magnitude de força aplicada em um dente, tem relação com a dor experimentada pelo paciente. Forças pesadas são responsáveis pela maior parte das respostas de segundo e terceiro grau. O ligamento periodontal não apresenta um filamento de dor e, por isso, a compreensão da dor durante um movimento dentário fica subjetivamente prejudicada. O ortodontista só terá uma compreensão da relação de força e resposta a dor quando os mecanismos que causam a dor durante o movimento dentário forem revelados. Afirma ainda que, para que ocorra a movimentação dentária induzida, é necessário a aplicação de forças que serão transmitidas ao periodonto de inserção, provocando alterações histológicas desses tecidos e conseqüentemente a movimentação dentária. A taxa de movimento do dente está relacionada com a magnitude de força aplicada, que podem ser leve ou pesada, e é definida como sendo o deslocamento de um dente por uma unidade de tempo, sendo geralmente medida em milímetros por hora, dia ou semana e apresenta diferentes respostas frente às variações de forças aplicadas. Comenta também existir algumas variáveis que dificultam a compreensão da relação entre magnitude de força e o movimento dentário, como forças no tecido conjuntivo operando através de fibras gengivais ou transeptais, forças da língua, musculatura perioral e músculos da mastigação, forças estas que podem alterar as resultantes de forças que agem sobre um elemento dental. Se uma força constante é aplicada ao dente, se obtêm uma imagem típica em relação à quantidade de movimento frente ao tempo e três fases do movimento dentário podem ser observadas: fase inicial, fase de estagnação e fase de pós-estagnação. A fase inicial dura poucos dias e possui uma movimentação dentária rápida sugerindo um grau avançado de deslocamento dentário no espaço periodontal. Logo após surge a fase de estagnação na qual o dente não se desloca ou seu movimento é insignificante devido ao processo chamado de hialinização, que consiste na não-vitalização do ligamento periodontal em áreas de máxima pressão e nenhum movimento ocorre até que a área hialinizada seja removida por processos celulares. A terceira fase do movimento dentário é a pós-estagnação que se caracteriza pelo aumento gradual ou repentino do movimento dentário. Para melhor explicar a relação entre a magnitude de força e a taxa de movimento dentário comentam que sob níveis baixos de pressão, ocorrem poucas reabsorções e a aposição óssea pode ocorrer nos espaços medulares. O metabolismo celular aumenta à medida que a pressão é elevada. Forças pesadas apresentam um retardamento evidente, seguido por um período de

movimento rápido. Na maioria das condições clínicas o movimento do dente após a fase tardia é realizado por uma combinação de processos de reabsorção direta e indireta. Pode-se concluir, então, que uma larga gama de magnitudes de força, de leves até pesadas, sendo contínuas, são capazes de mover rapidamente um dente. Sendo que, em baixas magnitudes de força os incrementos aumentam a taxa de movimento dentário e, em magnitudes de força pesadas, os incrementos causam a hialinização do ligamento periodontal, retardando o movimento na fase de estagnação, mas voltará a haver movimentação dentária, quando ocorrer a reabsorção da área de hialinização. Quanto à magnitude de força ótima para a movimentação dentária, afirma que do ponto de vista clínico, força ótima é aquela que produz rápida taxa de movimento de dente sem causar desconforto ao paciente ou dano posterior nos tecidos do periodonto de inserção, como por exemplo, perda do osso alveolar e reabsorção radicular. Do ponto de vista histológico, força ótima seria a capaz de produzir um nível de pressão no ligamento periodontal que mantenha sua vitalidade e gere uma resposta celular máxima (reabsorção e aposição).

PROFFIT:FIELDS JR⁹ (2002) descrevem o ligamento periodontal como sendo uma estrutura resistente, composta por fibras colágenas que mantem o dente “dentro” do osso alveolar, possui aproximadamente 0,5 mm de espessura e que se localiza em volta de toda raiz. Destacam que embora a maior parte do espaço do ligamento periodontal seja ocupada por feixes de fibras colágenas que constituem a fixação do ligamento, dois outros importantes componentes devem se considerados: (1) os elementos celulares, incluindo células mesenquimais de vários tipos, juntamente com os elementos vasculares e neurais; (2) os fluidos tissulares. Ambos desempenham importantes papéis na função normal e tornam possível o movimento ortodôntico. Quanto à função do ligamento periodontal, recordam que o espaço do ligamento periodontal é preenchido por fluido que é o mesmo encontrado em tecidos derivados do sistema vascular e que um compartimento preenchido de fluidos com paredes retentivas, porém poderosas, poderia ser descrito como um sistema de amortecimento hidráulico sob a aplicação de forças neste sistema, por exemplo, quando um dente é submetido a elevadas magnitudes de força, seu rápido deslocamento dentro do espaço periodontal é evitado pelo fluido tissular

incompressível. Por outro lado, a força é transmitida ao osso alveolar, que se flexiona em resposta. Afirmam que muito pouco fluido do espaço periodontal é comprimido para fora durante o início da aplicação da força. No entanto, se a pressão contra um dente é mantida, o fluido é rapidamente escoado e o dente se movimenta no espaço periodontal, comprimindo o ligamento contra o osso alveolar adjacente gerando um possível estímulo doloroso. Apesar de o ligamento periodontal ser preparado para resistir às forças de curta duração, ele perde rapidamente essa capacidade adaptativa com a compressão e extravasamento do fluido tissular desta área confinada. Uma força prolongada, mesmo que de baixa magnitude, produz uma resposta fisiológica diferente e gera a remodelação do osso adjacente, tornando o movimento dentário possível. Quanto ao ligamento periodontal e a resposta óssea à aplicação de forças ortodônticas citam que a magnitude de força aplicada é a responsável pelas respostas biológicas nos tecidos de suporte dos dentes, ou seja, quando uma força de elevada magnitude é aplicada em um dente, elas levam a um rápido desenvolvimento da dor, da necrose dos elementos celulares do ligamento periodontal e o fenômeno da reabsorção solapante, que consiste na reabsorção do tecido necrótico gerado pela hialinização do ligamento periodontal. Em contrapartida, na aplicação de forças de baixa magnitude, as células do ligamento periodontal não são prejudicialmente afetadas e então, a remodelação do osso alveolar acontece através da reabsorção frontal e relativamente sem a presença da dor. Citam que, na prática ortodôntica, o objetivo é produzir o maior movimento dentário possível, através da reabsorção frontal, e reconhecem que em algumas áreas do ligamento periodontal, provavelmente ocorrerá necrose e conseqüentemente reabsorção solapante, apesar dos esforços para evitá-las. Para explicar o movimento dentário, utilizam a teoria pressão- tensão, que se baseia na química como estímulo para a diferenciação celular e, conseqüentemente no movimento dentário. Não há dúvidas de que os mensageiros químicos são importantes na cascata de eventos que levam à remodelação óssea alveolar e ao movimento dentário. Nesta teoria, uma alteração no fluxo sanguíneo no ligamento periodontal é produzida por pressão exercida por forças contínuas, decorrentes das forças ortodônticas, que causa a mudança de posição do dente no espaço periodontal, comprimindo o ligamento periodontal em algumas áreas, enquanto tenciona em outras. O fluxo sanguíneo diminui onde o ligamento é comprimido, enquanto é frequentemente mantido ou aumentado onde o ligamento está

sobtensão. Alterações no fluxo sanguíneo criam, rapidamente, mudanças no ambiente químico. E em consequência, o nível de oxigênio poderá diminuir na área comprimida, mas aumentar no lado da tensão. Essas mudanças químicas, agindo diretamente ou por estímulo da liberação de outros agentes ativos biologicamente, poderiam estimular então, a diferenciação e a atividade celular. Esta visão do movimento dentário mostra três estágios: (1) alterações no fluxo sanguíneo associadas à pressão no ligamento periodontal, (2) formação e/ou liberação mensageiros químicos, e (3) ativação das células. Para explicar os efeitos da magnitude de força no movimento dentário em ortodôntico, comentam que quanto maior for a pressão aplicada, maior será a redução no fluxo sanguíneo através das áreas comprimidas do ligamento periodontal, até o ponto em que os vasos se tornam totalmente colapsados e sem fluxo sanguíneo. Quando uma força leve, porém prolongada, é aplicada a um dente, o fluxo sanguíneo através do ligamento periodontal, parcialmente comprimido, diminui tão logo o fluido é enviado para fora e o dente se move em seu alvéolo. Dentro de poucas horas, a mudança resultante do ambiente químico produz um padrão diferente de atividade celular podendo levar a movimentação dentária propriamente dita. Para o dente se movimentar, osteoclastos devem ser formados de modo que possam remover osso das áreas adjacentes à parte comprimida do ligamento periodontal, no lado da pressão. Também é necessária a formação de osteoblastos para a produção de novo osso alveolar no lado da tensão e nas áreas de reabsorção remodeladora no lado da pressão. Os osteoclastos atacam a lâmina dura adjacente do osso alveolar, removendo o osso por processo de reabsorção frontal e o movimento dentário inicia-se logo após. Ao mesmo tempo, ou um tempo depois, quando o espaço periodontal se torna aumentado, os osteoblastos formam osso no lado de tensão e inicia-se a atividade remodeladora no lado da pressão. Na clínica ortodôntica, é difícil introduzir uma pressão que gere o mínimo de áreas avasculares, ou hialinas, no ligamento periodontal. Definem áreas hialinas, como sendo áreas que possui a inevitável perda de todas as células quando o suprimento sanguíneo é totalmente interrompido e afirmam que, apesar do nome, o processo de hialinização não possui nenhuma área de formação de tecido conjuntivo hialino. Quando esse fenômeno acontece, a remodelação óssea adjacente à área necrótica tem que ser realizada por células derivadas de áreas adjacentes não danificadas por meio de reabsorção solapante. Quando a hialinização e a reabsorção solapante acontecem, há um atraso do

movimento dentário. Explicam como sendo em decorrência de um atraso na estimulação da diferenciação das células nos espaços medulares e, secundariamente, por causa da considerável espessura do osso que necessita ser removido por baixo, para que o movimento dentário possa acontecer. Enfatizam, que não somente o movimento dentário é mais eficiente quando se evitam áreas de necrose do ligamento periodontal, como as dores também são diminuídas. Entretanto, sabe-se que, mesmo na aplicação de baixas magnitudes de força, pequenas áreas avasculares podem se desenvolver no ligamento periodontal e o movimento dentário pode ser retardado até que estas áreas possam ser removidas por reabsorção solapante. Para fechar a ideia da relação da magnitude força com o movimento dentário comentam que, clinicamente, o movimento dentário ocorre com frequência, de uma forma mais intercalada, por causa da formação das inevitáveis áreas hialinas. Quanto aos efeitos da duração da força e movimento dentário, destacam que o segredo para se produzir um movimento ortodôntico está na aplicação de uma força de magnitude adequada, o que não significa que a força deverá ser completamente contínua, mas sim, que seja aplicada em um intervalo de tempo considerável. A experiência clínica sugere que há um limiar de duração de força em humanos em torno de 4 a 8 horas, e o movimento dentário será significativamente eficaz se a força for mantida por um longo período. Destacam também que a duração da força possui outro aspecto, relacionado à com a magnitude de força, pois, ela varia à medida que o dente se movimenta. É evidenciado na literatura que na realidade, algum declínio na magnitude de força é notado mesmo com o melhor aparelho após o dente ter-se movido a uma curta distância. Conforme essa perspectiva, a duração da força ortodôntica é classificada de acordo ao seu ritmo de desativação em: (1) força contínua, força mantida a um nível considerável de uma consulta para outra. (2) força contínua interrompida, força que possui um declínio dos níveis de força até zero entre as ativações e (3) força intermitente, na qual, os níveis de força declinam abruptamente para zero de forma intermitente. Exemplificam que as forças contínuas e a interrompida, podem ser obtidas através da utilização de aparelhos fixos e a intermitente através da utilização de aparelhos removíveis. Destacam também, a existência de uma importante interação entre a magnitude de força e a velocidade de seu declínio à medida que o dente se move. Considerando a força contínua, se essa força for de baixíssima magnitude, haverá um movimento dentário relativamente uniforme, resultante da

reabsorção frontal. No entanto, se a força contínua for de elevada magnitude, o movimento dentário será lento até que a reabsorção solapante possa remover o osso necessário para permitir o movimento dentário. Desta forma, a força contínua de elevada magnitude, poderá ser destrutiva, tanto para as estruturas periodontais, como para o próprio dente. Comentam ainda que, teoricamente, não há dúvidas de que forças contínuas de baixa magnitude produzem um movimento dentário mais eficiente, e que forças contínuas pesadas devem ser evitadas, porém, as forças intermitentes de elevada magnitude, embora menos eficientes, são clinicamente aceitáveis. Ainda sobre este assunto, citam que vários estudos clínicos têm indicado que a aplicação de forças de elevada magnitude podem produzir uma taxa de movimento dentário maior que as forças de baixa magnitude, um resultado aparentemente paradoxal, que pode ser compreendido considerando-se as características de declínio da força. Para que a aplicação da força seja eficiente, é necessário um sistema de ancoragem. Dizem ser a magnitude de força ideal para a movimentação dentária ortodôntica a de baixa magnitude, pois, a pressão resultante produziria uma resposta biológica mais próxima do ideal para gerar uma maior taxa de movimentação dentária com o mínimo de danos possível ao ligamento periodontal. Já forças de elevada magnitude, apesar de gerarem taxas de movimentos ortodônticos efetivos, seriam desnecessariamente traumáticas. Quanto aos efeitos deletérios da força ortodôntica, destacam a mobilidade e a dor durante o movimento dentário e os efeitos da magnitude de força na polpa dental e na estrutura radicular. Comentam que durante o movimento dentário, é observado radiograficamente um alargamento do espaço periodontal, e que a combinação desse aumento com a desorganização de suas fibras, significa que o paciente apresentará um aumento na mobilidade dentária. Quanto maiores forem às magnitudes das forças ortodônticas, maior será a quantidade de reabsorção solapante esperada e a mobilidade encontrada e que, a mobilidade excessiva é um indicativo de que forças excessivas foram utilizadas. Se um dente se torna extremamente móvel durante o tratamento ortodôntico, todas as forças deverão ser removidas até que a mobilidade diminua para níveis moderados. Se uma força de elevada magnitude for aplicada sobre um dente, a dor se desenvolverá quase que imediatamente, no momento em que as fibras periodontais forem comprimidas. Entretanto, se uma força de magnitude adequada for aplicada, o paciente terá pouca ou nenhuma sensibilidade imediata, porém ela aparecerá, mesmo que em menor

intensidade, algumas horas mais tarde. Citam haver uma variação individual dos pacientes em relação às respostas aos estímulos dolorosos causados pela aplicação de forças ortodônticas. A dor associada ao tratamento ortodôntico está relacionada com o desenvolvimento de áreas isquêmicas no ligamento periodontal que sofrerão necrose estéril, ou seja, está associada ao processo de hialinização do ligamento periodontal, provocada com mais frequência, na aplicação de forças de elevada magnitude. Portanto, forças de baixa magnitude são fundamentais para minimizar a dor durante o tratamento ortodôntico. Comentam também, a existência de alguns relatos ocasionais de perda de vitalidade dental durante o tratamento ortodôntico, embora, normalmente o paciente possuía uma história prévia de trauma dentário. Entretanto, a perda do controle na aplicação da força ortodôntica também pode gerar uma a perda da vitalidade pulpar, pois, um movimento radicular forte e brusco provocado por uma força de elevada magnitude, poderá romper os vasos sanguíneos que nutrem a polpa dental. Acrescentam que o tratamento ortodôntico requer reabsorção e aposição na superfície radicular e que, por muitos anos, pensou-se que as raízes dentárias não eram remodeladas da mesma forma que o osso alveolar. Porém, pesquisas têm afirmado que, quando forças ortodônticas são aplicadas, existe um ataque ao cimento radicular, ao mesmo tempo em que há ataque ao osso adjacente, mas que o reparo do cimento sempre ocorre. A remodelação radicular é própria do movimento dentário ortodôntico, mas a perda permanente de estrutura radicular ocorreria somente se a reparação do cimento inicialmente reabsorvido não fosse feita. Já a reabsorção localizada severa, é o tipo de reabsorção mais encontrado em Ortodontia e que, a utilização de forças com magnitude elevada, aumenta os riscos de reabsorção radicular, principalmente se forem de elevada magnitude e contínuas. Acrescentam que o tratamento ortodôntico por tempo prolongado aumenta a incidência de reabsorção radicular.

REITAN;RYGH;THILANDER¹¹ (2002) comentam que o movimento dentário é dividido em dois períodos, um inicial e outro secundário, sendo a reabsorção óssea direta encontrada mais notoriamente no período secundário, quando o tecido hialinizado houver desaparecido após a reabsorção óssea solapante. Afirmam também, que durante aplicação da força no período inicial do movimento dentário, ocorre a compressão em áreas limitadas da membrana periodontal que, frequentemente, impedem a circulação vascular e a diferenciação celular, causando

a degradação das células e estruturas vasculares, ao invés de proliferação e diferenciação. O tecido desta área revela-se com aspecto semelhante ao vidro na microscopia óptica e é chamado de hialinização. Realçam que a hialinização é uma área necrótica estéril, geralmente limitada a 1 ou 2mm de diâmetro e causada, parcialmente, por fatores anatômicos e mecânicos, sendo quase inevitável no período inicial do movimento dentário. Complementam que, desde que a força seja mantida dentro de determinados limites ou ocorra uma suave reativação da força, a reabsorção óssea decorrente é predominantemente direta. E quando a aplicação da força é adequada, grande número de osteoclastos é visto ao longo da superfície óssea, e o movimento dentário é rápido. Entretanto, nas áreas hialinas, as células não conseguem se diferenciar em osteoclastos e então, não é possível que ocorra a reabsorção óssea a partir da membrana periodontal e o movimento dentário cessa até que o osso alveolar adjacente tenha sido reabsorvido, as estruturas hialinas removidas e a área repovoada por novas células.

YUJIN REN; MALTHA; KUIJPERS-JAGTMAN¹⁴ (2003) realizaram uma revisão de literatura com o objetivo de padronizar uma magnitude de força, ou uma gama de forças ortodônticas ideais para o uso clínico em Ortodontia. Para isso selecionaram 161 artigos de experimentos realizados em animais e 305 em humanos. Aplicados os critérios de exclusão permaneceram 17 estudos realizados em animais e 12 em humanos. Observaram que a busca de uma magnitude de força ótima para a movimentação dentária ortodôntica é bastante frequente na literatura, porém, ainda não foi possível determiná-la. Detectaram fatores que dificultam esse entendimento, sendo o primeiro a impossibilidade de calcular com precisão a distribuição de tensões e deformações no ligamento periodontal. A maioria dos estudos encontrados baseia-se em medições da taxa de movimentação dentária em resposta a uma magnitude de força aplicada. Mas a magnitude de força por si só, não é um fator crítico que leva a uma resposta biológica, o estresse e as tensões recebidas pelas células do periodonto de inserção e as suas reações, também são fatores fundamentais para este fenômeno. Entretanto, não existe na literatura um modelo biomecânico de confiança, a partir do qual, seria possível mensurar essa relação. O segundo problema é que em muito dos experimentos citados, o controle do tipo de movimento dentário não foi obtido com sucesso. Na maioria dos experimentos movimento de inclinação foi observado, o que indica a ocorrência de distribuição de

tensões desiguais no ligamento periodontal, obtendo como resultado clínico, uma taxa de movimentação da coroa do dente diferente da raiz, ou mesmo, em direções opostas, dificultando a aferição exata da taxa de movimentação dentária, pois, geralmente essa taxa é calculada avaliando o deslocamento da coroa do dente e não o seu centro de resistência, conduzindo a uma possível sobre avaliação dos efeitos da magnitude de força aplicada. O terceiro fator refere-se às fases do movimento ortodôntico. A maioria dos experimentos foi realizada em períodos experimentais relativamente curtos, e com isso a quantificação da taxa de movimento dentário possivelmente foi analisada apenas na fase inicial e de estagnação do movimento dentário, não sendo avaliada a terceira fase, a de pós-estagnação, na qual, a taxa de movimentação dentária pode ser considerada mais precisa. O quarto e último fator encontrado nos estudos é a grande variação interindividual, tanto para animais, quanto para humanos. As variações na estrutura e na atividade celular dentro do ligamento periodontal e osso alveolar e a diferença na expressão de fatores como as citocinas e fatores de crescimento entre indivíduos do mesmo grupo, podem gerar respostas diferentes na taxa de movimentação dentária sob a aplicação de uma mesma magnitude de força, dificultando ainda mais a obtenção de uma magnitude de força ótima para uso clínico em Ortodontia. Como não foi possível realizar uma meta-análise precisa entre a magnitude de força e a taxa de movimentação dentária baseada na literatura atual, nenhuma magnitude de força baseada em evidências, pode ser denominada e recomendada como ótima para a máxima eficiência na prática clínica em Ortodontia.

YIJIN REN et al.¹⁵ (2004) procuraram desenvolver um modelo matemático para descrever a relação entre a magnitude de força ortodôntica e a taxa de movimentação dentária induzida. Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos através de uma revisão sistemática da literatura de 1966 a 2001. A magnitude de força avaliada foi de 10 a 1200 cN. Para os estudos que reportaram resultados somente em gráficos, a velocidade da movimentação dentária foi interpretada a partir da fase de pós-estagnação, ou seja, na fase linear do movimento dentário, ao invés de utilizar todas as fases na avaliação. Foram consideradas algumas variáveis como a duração do período experimental, a frequência da reativação, o tipo de movimento dentário e o aparelho utilizado nos experimentos. A busca pelo modelo matemático baseou-se nas seguintes premissas

de que: não há movimentação dentária induzida sem a aplicação de um sistema de força; o aumento da curva força-velocidade inicia-se com a aplicação de forças de baixas magnitudes e atinge seu valor máximo na aplicação de elevadas magnitudes de força; a inclinação da curva força-velocidade pode diminuir permanecer ou aumentar com a aplicação de novas magnitudes de força; a taxa de movimentação dentária nunca se tornará negativa, pois, o movimento dentário nunca será em sentido contrário ao da aplicação da força ortodôntica. Estes pressupostos foram empregados em um modelo matemático de acordo com a seguinte equação: $(V) = V_{max} \times (F/F_{max}) \text{ elevado a } F_{max}/F_s \times \exp(F_{max}-f)/F_s$, em que (V) = velocidade, (F)= função da força, V_{max} = velocidade máxima , F_{max} = força em que V_{max} é atingido e F_s = parâmetro em escala para magnitude de força. Os efeitos das variáveis na taxa de movimentação dentária foram avaliados, e observou-se que a variável “tipo de movimento” e “duração” não apresentaram significativa influencia na taxa de movimentação dentária, porém, a “reativação” e o “tipo de aparelho” tiveram efeitos significativos. A análise estatística mostrou que o aumento na reativação do aparelho ortodôntico levou a uma diminuição da taxa de movimentação dentária e que o tipo de aparelho possui influencia nesta taxa. Constatou que a magnitude de força ortodôntica não é o principal fator determinante na taxa de movimentação dentária, e que uma gama de magnitudes de força é capaz de evocar uma resposta biológica necessária para a movimentação dentária. Mostrou ainda, que forças de elevada magnitude muitas vezes utilizada na pratica clínica em ortodontia, não produzem o movimento dentário mais eficiente. Pelo contrário, elas podem sobrecarregar os tecidos periodontais causando efeitos negativos que dificultam o movimento dentário. E que as taxas máximas de movimentação dentária entre humanos e cães da raça *Beagle* não foram significativamente diferentes. Destacam também, que uma relação dose-resposta existe, mesmo com a aplicação de forças de magnitudes muito baixas, e que este fato, gera subsídios para a procura de uma magnitude de força ótima ou ideal. Concluem que os resultados obtidos, aparentemente, não são adequados para se prever uma relação força-velocidade em um caso clínico específico, e que nenhuma relação matemática simples parece existir entre a magnitude de força ortodôntica e a taxa de movimentação dentária induzida, e por isso uma magnitude de força ideal não pode ser definida.

TOMIZUKAA et al.¹⁶ (2007) objetivaram investigar histologicamente os efeitos do aumento gradual de uma força de baixa magnitude na movimentação dentária ortodôntica. Para isto foram utilizados 43 ratos machos da raça *Wistar* com 18 semanas de idade e magnetos de $1,5\text{mm}^2 \times 0,7\text{mm}$ de neodímio-ferro-bório nos Grupos experimentais 1 e 2 e de titânio no Grupo controle. Os magnetos foram fixados nas superfícies palatinas dos primeiros molares superiores com resina composta fotopolimerizável. As distâncias iniciais entre os magnetos eram de 1,0 mm, gerando magnitude de força inicial de 4,96gf no Grupo experimental 1 e de 1,5 mm, gerando magnitude de força de 2,26gf no Grupo experimental 2. Após a aplicação das forças, os ratos foram sacrificados com 1, 3, 7, 10 ou 14 dias e cortes histológicos da maxila obtidos para avaliação histológica do número de osteoclastos e de áreas hialinas presentes em cada grupo. No Grupo controle, leve tecido hialinizado e alguns osteoclastos foram encontrados no espaço periodontal. Os osteoclastos foram encontrados na superfície do osso alveolar de frente para o ligamento periodontal e ao redor do tecido hialinizado e não foram encontradas células de infiltrado inflamatório. No Grupo experimental 2, leves áreas hialinas foram observadas, contendo muitos osteoclastos na superfície do osso alveolar. No Grupo experimental 1, uma extensa área hialina foi observada e um número elevado de osteoclastos foram encontrados no lado da pressão nos dias 3 e 7 do período experimental. Foram também encontradas diferenças significativas no número de osteoclastos entre os três Grupos. O número de osteoclastos nos dois Grupos experimentais aumentou nos dias 3 e 7, tendo atingido o número máximo no sétimo dia e logo diminuiu. No Grupo controle, o número de osteoclastos não mostrou nenhuma mudança durante o período experimental. Nos dias 1 e 3, o número de osteoclastos no Grupo experimental 2 foi maior do que no Grupo experimental 1. Foram encontradas também diferenças significativas em relação à área hialina entre o Grupo experimental 1 e o Grupo controle e entre os Grupos experimentais 1 e 2. As áreas hialinas no Grupo experimental 1 aumentaram e alcançaram seu nível máximo no dia 7. No Grupo controle e no Grupo experimental 2, as áreas hialinas não se alteraram durante o período experimental. Analisando o presente estudo, pode-se observar que o número de osteoclastos encontrados no lado da pressão, sob a aplicação de uma magnitude de força inicialmente leve, no Grupo experimental 2, foi maior do que o encontrado na mesma área sob a aplicação de uma magnitude de força inicial pesada no Grupo experimental 1. A compressão excessiva do

ligamento periodontal, e a formação de uma área hialina extensa, ambos os fenômenos provocados pela aplicação de uma magnitude de força inicialmente pesada, são fatores que dificultam o recrutamento de osteoclastos resultando em um “atraso” na reabsorção óssea alveolar e, conseqüentemente, no movimento dentário induzido. O presente estudo sugere também que uma força de baixa magnitude inicialmente aplicada, encontrada no Grupo experimental 2, reduz a formação de áreas hialinas, facilitando o movimento dentário induzido ortodonticamente. Pode-se concluir então, que uma força de baixa magnitude aplicada por um sistema de magnetos induz um maior recrutamento dos osteoclastos e a formação de áreas hialinas menores, e assim, produz movimento dentário ortodonticamente induzido, mais eficaz.

KILIÇ;OKTAY;ERSOZ⁴ (2009) realizaram um estudo com o objetivo de evidenciar a taxa de movimentação dentária sob a aplicação de duas magnitudes de força distintas. Para isso, foram utilizadas 25 coelhas fêmeas, adultos jovens, da raça *Nova Zelândia*, com 14 semanas de idade. Os coelhos foram aleatoriamente divididos em dois grupos, Grupo I e Grupo II. As magnitudes de força utilizadas neste experimento foram de 20g e 60g e o aparelho utilizado para a aplicação das forças foi uma mola de expansão. Para avaliar a taxa de movimentação dentária, a distância entre os incisivos foi medida através de um paquímetro digital. O Grupo I recebeu a aplicação da força de 20g de magnitude, enquanto, o Grupo II recebeu a de 60g. No final do período experimental, a distância média entre os incisivos foi de 3,98 +/- 0,59mm para o Grupo I e de 4,82 +/- 0,82mm para o Grupo II. Sendo assim, concluíram que a taxa de movimentação dentária está relacionada com a magnitude de força aplicada.

YEE et al.¹³ (2009), avaliaram a taxa de movimentação ortodôntica e sua velocidade na aplicação de forças contínuas de baixa e alta magnitudes. Para isso foram utilizados 14 pacientes, 5 meninos e 9 meninas, com idades de 13.0 à 19.5 anos, que necessitavam da distalização de caninos superiores para fechamento de espaço após a extração dos primeiros pré-molares. As magnitudes de força utilizadas foram de 50 cN e 300 cN e o período experimental de 12 semanas. O espaço entre o canino e o segundo pré-molar foi medido no início da movimentação do canino (T0) e a cada 28 dias (T1, T2, T3) para avaliar o fechamento do espaço. A

diferença no fechamento total do espaço, após as 12 semanas, entre as forças de baixa e as de alta magnitude foi significativa. A força de baixa magnitude (50 cN), obteve uma movimentação dentária média de 3,51 +/- 1,30 mm e a força de alta magnitude (300 cN) de 7,34 +/- 1,90 mm. No entanto, a taxa de movimentação só foi significativa entre T0 e T3. Os valores médios do fechamento de espaço entre T0 e T1, foram iguais em ambas as magnitudes de força. Avaliando o espaço entre o canino e o segundo pré-molar em relação à magnitude de força aplicada e a taxa de movimento dentário no decorrer do período experimental, observou-se que de T1 para T2 a taxa de movimentação média foi de 0.92 +/- 0.40 mm e de 0.87 +/- 0.35mm entre T2 e T3, sob a aplicação da força de baixa magnitude. Já na aplicação da força de elevada magnitude a taxa de movimentação obtida foi de 1.59 +/- 0.65mm entre T1 e T2 e de 1.87 +/- 1.05 mm entre T2 e T3. A taxa de retração dos caninos foi significativamente maior no Grupo que recebeu a aplicação da força de magnitude elevada em relação ao Grupo que recebeu a baixa magnitude durante o período experimental total (12 semanas). Os caninos retraíram em média 2.81 +/- 1.0 mm no Grupo de magnitude elevada e 1.81 +/- 0.61 mm no de baixa magnitude. A porcentagem de retração de caninos em relação ao fechamento total do espaço obtido foi de 55% para a força de alta magnitude e de 62% para a de baixa magnitude. A rotação do canino foi mais significativa no grupo que recebeu a aplicação de uma elevada magnitude de força em relação ao de baixa magnitude. Esse resultado levou a um descontrolado movimento de rotação disto-vestibular do canino, podendo também contribuir para a obtenção da maior taxa de retração encontrada no grupo que recebeu 300 cN de magnitude. A perda de ancoragem foi significativamente maior no Grupo que recebeu 300 cN em relação ao que recebeu 50 cN durante o período experimental. Os resultados encontrados indicam uma diferença altamente significativa entre as forças de baixa e elevada magnitudes na movimentação dentária induzida. A força de elevada magnitude obteve uma maior taxa de retração de canino, que era aumentada gradualmente durante o decorrer do período experimental, no entanto, os efeitos adversos como a perda de ancoragem e no controle de rotação foram concomitantemente encontrados. Embora a taxa real de fechamento total do espaço tenha sido maior no Grupo de elevada magnitude, o percentual de fechamento do espaço foi maior no de baixa magnitude. A quantidade de perda de ancoragem foi proporcionalmente menor no Grupo de baixa magnitude (38%) do que no de alta magnitude (45%). Os resultados mostram que forças de

elevadas magnitudes podem levar a uma perda de ancoragem e que as forças de baixa magnitude são mais indicadas para a retração de caninos. Analisando os resultados obtidos na presente pesquisa, pode-se concluir que, a exploração desses resultados em pesquisa em seres humanos indica que as forças de baixa magnitude produzem uma movimentação dentária de melhor qualidade em termos de controle biológico e vantagens mecânicas do que as de altas magnitudes.

LEEUWEN et al.¹⁸ (2010), definem movimentação ortodôntica como resultado de fatores biológicos, em resposta a interferência no equilíbrio fisiológico do complexo dento facial por uma força externamente aplicada. Realizaram um estudo com a finalidade de verificar uma possível relação dose-resposta entre a magnitude de força e a taxa de movimentação ortodôntica. Para isso foram usados 8 cães da raça *Beagle* entre 1-1,5 anos de idade todos com a dentição permanente completa. Para a instalação dos aparelhos, alguns dentes foram extraídos, tanto da mandíbula (terceiros e quartos pré-molares), quanto da maxila (todos os pré-molares e primeiros molares). Os aparelhos foram instalados entre os segundos pré-molares e os primeiros molares mandibulares. A primeira aplicação de força foi com magnitude de 10 cN em um lado e de 300 cN no outro lado, sendo mantidas durante 22 semanas e quando todos os dentes estavam em fase linear da movimentação dentária, por um período de pelo menos um mês. Após este período, a magnitude de força foi aumentada para 600 cN em ambos os lados em 7 cães e, em um cão, apenas foram invertidas as magnitudes de forças aplicadas anteriormente e acompanhadas durante 10 semanas para avaliar a taxa de movimentação dentária. O resultado obtido foi que nos pré-molares ambas as magnitudes de força de 10 cN e 300 cN, resultaram na mesma taxa de movimentação dentária, porém quando aumentadas para 600 cN, o lado que estava com a menor magnitude de força anteriormente, teve uma taxa de movimentação maior do que o outro, que não apresentou diferença na taxa de movimentação. Já nos molares, o lado que recebeu 300 cN teve uma taxa de movimentação maior do que o outro lado que recebeu 10 cN, porém em ambos os lados foi obtido um resultado significativo na taxa de movimentação dentária, quando as magnitudes de força foram alteradas para 600 cN. Nos pré-molares, não houve diferença na movimentação com magnitudes de força de 10 cN e 300 cN, porque a resposta biológica para essas foi a mesma. As diferentes taxas de movimentação dentária entre pré-molar e molar

podem ser explicadas pela relação entre superfície radicular e magnitude de força aplicada, que são inversamente proporcionais. Nessas taxas de movimentação, devem ser consideradas as superfícies das raízes sendo que a superfície radicular de um primeiro molar mandibular é cerca de 10x maior que a de um pré-molar mandibular. O estudo mostra que a magnitude de força de 600 cN, em primeiro molar teria aproximadamente a mesma resposta celular em um segundo pré-molar sob uma magnitude de força de 60 cN. Portanto, a magnitude de força de 10-600 cN em um molar, seria equivalente a de 1-60cN em um pré-molar. Essa ideia é apoiada pelo presente estudo, pois para os molares, ocorreu uma significativa diferença na taxa de movimentação dentária com 10 cN e 300 cN, o que não foi verificado nos pré-molares, pois os mesmos apresentaram a mesma taxa de movimentação nessas magnitudes de força. A variação individual de cada cão também deve ser levada em consideração para a avaliação da dose-resposta, uma vez que a mesma magnitude de força gerou respostas biológicas diferentes em cada animal. Isso pode ter ocorrido devido à diferença na morfologia dos ossos alveolares, nas áreas de superfícies das raízes e nas propriedades biomecânicas dos tecidos periodontais. Levando em conta as limitações do presente estudo, a individualidade de cada animal e a diferença na superfície de contato das raízes dos diferentes grupos de elementos dentários, pode-se concluir que no presente estudo, na movimentação de pré-molares, por exemplo, quando um força de magnitude de 10 cN foi elevada para 600 cN, se observou um aumento na taxa de movimentação dentária. Porém quando a magnitude de força de 300 cN foi elevada à 600 cN, o aumento na taxa de movimentação dentária não pode ser observado, provavelmente porque essas magnitudes de força geram respostas biológicas semelhantes no tecido periodontal.

KILIC;OKTAY;ERSOZ⁵ (2011), analisaram em coelhos, o índice de recidiva do movimento ortodôntico sob duas magnitudes de força diferentes. Para a realização do experimento foram utilizados 25 fêmeas de coelhos jovens e saudáveis da raça *Nova Zelândia*, com idade média de 14 semanas. Os coelhos foram divididos aleatoriamente em dois grupos experimentais, onde o Grupo I era composto de 12 coelhos e o Grupo II de 13 coelhos. Um pequeno preparo foi feito na face vestibular dos incisivos centrais superiores a aproximadamente 1,5 a 2 mm da margem gengival e em seguida o preparo era estendido na direção vestibulo-palatal com uma broca, para a instalação do aparelho ortodôntico. O aparelho utilizado neste

estudo foi uma mola de expansão. A magnitude de força gerada pelas molas era medida com um instrumento antes de sua instalação. Quando as extremidades livres das molas eram fechadas a 4 mm, o que corresponde à largura do preparo feito nos incisivos dos coelhos, algumas molas passaram a exercer força com magnitude de aproximadamente 17 à 23 g e outras de 55 à 65 g. No Grupo I as molas exerciam uma força com magnitude de 20g +/-3 e no Grupo II, 60g +/- 5. A movimentação dentária ativa foi realizada por 20 dias, quando as molas foram removidas. A distância entre o terço médio das coroas dos incisivos era medida a cada manhã através da utilização de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Para obter resultados confiáveis três medições eram realizadas a cada sessão e os valores das médias obtidas, utilizados para a análise estatística. Os valores médios totais de abertura dos incisivos foram de aproximadamente 3,98mm +/- 0,59 no Grupo I e 4,82mm +/- 0,82 no Grupo II. A diferença entre os dois grupos foi de aproximadamente 0,8mm no final da movimentação dentária ativa. As taxas médias totais de recidiva foram de 3,45mm +/- 0,58 no Grupo I e 3,89mm +/- 0,77 no Grupo II. Recidivas imediatas rápidas ocorreram em 37% dos dentes no Grupo I e 41% no Grupo II e foram observadas durante o primeiro dia após a remoção das molas e diminuíram gradativamente durante os dias seguintes do experimento. O maior movimento de recidiva significativa ocorreu no Grupo II apenas no primeiro dia e permaneceu com uma diminuição gradual até o oitavo dia, a partir de que nenhum movimento significativo foi identificado. Isto significa que a aplicação de uma força com magnitude de 60g, gera um maior e mais duradouro movimento de recidiva do que uma aplicação de 20g. A descoberta mais surpreendente do presente estudo foi à observação da rápida recidiva nos primeiros dias após os aparelhos serem removidos. Este fato indica que uma significativa tendência a recidiva ocorreu devido a deformação ou estiramento dos tecidos periodontais após o tratamento ortodôntico. É um senso comum no meio científico que os principais fatores causadores de recidivas dos movimentos ortodônticos são o estresse e as tensões armazenadas nas fibras do ligamento periodontal em decorrência da aplicação de forças ortodônticas. Analisando os dados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que forças de baixa e de alta magnitude são capazes de induzir uma movimentação dentária e que quanto maior a magnitude de força aplicada, maior será a taxa de movimento inicial e conseqüentemente maior será a taxa de recidiva inicial do movimento. Essas observações podem ser mais bem explicadas seguindo

uma linha de raciocínio em que uma força de maior magnitude promove inicialmente um maior estiramento ou deformação das estruturas do periodonto e, conseqüentemente, um maior movimento dentário inicial dentro do alvéolo. Quando o aparelho ortodôntico é removido, as tensões armazenadas no periodonto, decorrentes das aplicações de forças são liberadas e as fibras do ligamento periodontal tendem a voltar a suas posições originais, provocando assim, os movimentos de recidiva. Então, através das limitações deste estudo, pode-se comprovar que, quando a magnitude de força ortodôntica for equivalente a 60g, maior será a deformação e, conseqüentemente, maior será o índice de recidiva, quando comparado com a de 20g. Porém, mais estudos são necessários para estabelecer uma melhor relação entre a magnitude de força e o índice de recidiva em tratamentos ortodônticos.

TONDELLI¹⁷ (2011) realizou um estudo histomorfométrico da movimentação dentária induzida com a aplicação de força contínua (FC), contínua interrompida (FCI) e intermitente (FI) em ratos com a finalidade de avaliar a quantidade de movimentação dentária e o comportamento periodontal e radicular após o emprego desses tipos de forças ortodônticas. Para isso foram utilizados 54 ratos machos albinos, da linhagem *Wistar (Rattus norvegicus)*, adultos jovens com aproximadamente 90 dias e massa corporal de 300g. Os modelos experimentais foram compostos por 3 Grupos de 18 animais, submetidos a movimentação dentária induzida com força contínua, contínua interrompida e intermitente, por períodos experimentais de 5,7 e 9 dias. Em todos os grupos os primeiros molares superiores do lado direito foram submetidos à movimentação dentária induzida, com a aplicação de uma força com magnitude de 50 cN, ancorados aos incisivos superiores do mesmo lado. Para a aplicação das forças, molas foram instaladas. O primeiro molar superior direito foi envolvido com um fio de aço 0,20 mm de diâmetro (Morelli, Sorocaba, SP, Brasil), atado a uma mola de secção fechada de 3 mm de comprimento. Para a obtenção de uma força contínua, a mola foi distendida em 3 mm de seu comprimento, e amarrada na cervical do incisivo superior direito através de resina e fio de aço, 0,25 mm de diâmetro. Na obtenção da força contínua interrompida, as molas foram desativadas e permaneceram passivas até a próxima ativação, com o fio de amarrilho até o incisivo e por fim, para a obtenção da força intermitente, as molas foram removidas entre as ativações. A análise quantitativa

da movimentação dentária mostrou que, no período de 5 dias, os dentes movimentados com força contínua apresentaram maiores deslocamentos. Porém, nos períodos de 7 e 9 dias, os dentes, sob o emprego de força contínua interrompida, atingiram maiores níveis de deslocamento. Pela análise estatística não houve diferença entre os Grupos FC e FCI, que diferiram de forma significativa, do Grupo FI. Quanto às áreas hialinas, em ambos os lados da raiz mesiovestibular e no lado de tração da raiz intermediária, não houve formação de áreas hialinas que pudessem ser aferidas. No lado de compressão das raízes intermediárias, com áreas hialinas evidentes e mensuráveis, o quinto dia mostrou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais dias. O Grupo FC apresentou as maiores áreas hialinas, com diferença estatisticamente significativa para os demais Grupos, atingindo um valor médio de 47,16 % da área do ligamento periodontal no quinto dia, enquanto, os Grupos FCI e FI apresentaram em média 10%. Analisando a reabsorção radicular, pode-se observar que a raiz mesiovestibular não apresentou reabsorção radicular mensurável em nenhum dos Grupos e que a raiz intermediária apresentou discreta reabsorção radicular, com percentual maior no lado de compressão, que aumentou gradativamente até o nono dia, atingindo 3% no Grupo FC, 1,39% no FCI e 0,30% no FI. No entanto, não houve uma diferença estatisticamente significativa. Analisando e comparando a espessura do ligamento periodontal das raízes intermediária e mesiovestibular do lado não movimentado, evidenciou uma diferença, estatisticamente significativa, mostrando que as dimensões do ligamento periodontal destas raízes são realmente diferentes. A presente pesquisa demonstrou que, a força contínua apresenta áreas hialinas mais extensas, maior frequência de reabsorções radiculares associadas a uma quantidade de movimentação semelhante à força contínua interrompida. A força intermitente produziu menores efeitos deletérios, porém, com menor quantidade de movimentação. Desta forma, a força contínua interrompida demonstrou ser o melhor tipo de força a ser empregada, visto que apresentou uma quantidade de movimentação dentária semelhante à força contínua, promovendo reabsorção radicular e áreas hialinas semelhantes à força intermitente. Na Ortodontia, devem-se utilizar os diversos tipos de forças conforme a necessidade ou indicação de cada caso, conhecendo seus efeitos e com base em evidências científicas, visto que as características de uma força possui mais influência que sua magnitude na movimentação dentária. Deve-se enfatizar também, que, as forças, mecanicamente

empregadas na Ortodontia, não são usadas para produzir um movimento mecânico e sim, para produzir estímulos biológicos que desencadeiam a movimentação dentária, que é um fenômeno biológico e não um evento físico. Aos profissionais da área, a falta de reflexão sobre este assunto pode refletir em futuras frustrações, que poderiam ser evitadas com a aplicação em suas práticas clínicas, de conhecimento científico baseado em evidências.

3. DISCUSSÃO

3. DISCUSSÃO

A movimentação ortodôntica, segundo LEEUWEN et al.¹⁸ (2010) é o resultado de fatores biológicos, em resposta a interferência no equilíbrio fisiológico do complexo dentofacial por uma força externamente aplicada. Complementando esta ideia, BURSTONE¹ (2002) afirma que, para que ocorra a movimentação dentária induzida, é necessário a aplicação de forças que serão transmitidas ao periodonto de inserção, provocando alterações histológicas desses tecidos e, conseqüentemente, a movimentação dentária. TONDELLI¹⁷ (2011) enfatiza que, as forças, mecanicamente empregadas em Ortodontia, não são usadas para produzir um movimento mecânico e sim, para produzir estímulos biológicos que desencadeiam a movimentação dentária, que é um fenômeno biológico e não um evento físico. YUJIN REN; MALTHA; KUIJPERS-JAGTMAN¹⁴ (2003) realçam que a magnitude de força por si só, não é um fator crítico que leva a uma resposta biológica, e que o estresse e as tensões recebidas pelas células do periodonto de inserção e as suas reações, também são fatores fundamentais para este fenômeno.

Quanto a relação entre a magnitude da força ortodôntica e o movimento dentário induzido KILIÇ; OKTAY; ERSOZ⁴ (2009) afirmam que a taxa de movimentação dentária está relacionada com a magnitude de força aplicada e YEE et al.¹³ (2009) que forças de elevadas magnitudes podem levar a uma perda de ancoragem e que as de baixa magnitude produzem uma movimentação dentária de melhor qualidade em termos de controle biológico e de vantagens mecânicas. Concordando com esta afirmação, STOREY¹² (1972) comenta que na aplicação de forças de elevada magnitude, a perda de ancoragem ocorre frequentemente, pois, essas forças podem induzir à uma rápida reabsorção do osso alveolar no segmento de ancoragem e, em decorrência deste fenômeno, a mesma é comprometida. Complementa ainda que na aplicação de forças de baixa magnitude, apesar de gerarem um movimento dentário mais lento, possibilitam uma ancoragem eficaz, que pode ser mantida por um longo período de tempo. Relata ainda, que a força de baixa magnitude é mais biológica e induz a formação de um osso alveolar de melhor qualidade e, por isso, o potencial de recidiva no emprego desta força é diminuído. TOMIZUKAA et al.¹⁶ (2007) comentam que uma força de baixa magnitude induz a um maior recrutamento dos osteoclastos e a formação de áreas hialinas menores, produzindo assim, movimento dentário ortodonticamente induzido, mais eficaz. Já

PROFFIT;FIELDS JR.⁹ (2002) afirmam que quando acontecem hialinização e reabsorção solapante, há um atraso do movimento dentário. E com base no mecanismo biológico, seria interessante a utilização clínica de magnitudes de força que evitem a formação de áreas hialinas para que o movimento ortodôntico possa ser mais efetivo. Complementando esta observação, REITAN;THILANDER¹¹ (2002) destacam que quando a hialinização está presente, ocorre um atraso no movimento dentário, pois, nas áreas hialinas as células não conseguem se diferenciar em osteoclastos e então, não é possível que ocorra a reabsorção óssea a partir da membrana periodontal e o movimento dentário cessa até que o osso alveolar adjacente tenha sido reabsorvido, que as estruturas hialinas tenham sido removidas e a área seja repovoada por novas células. PROFFIT;FIELDS JR.⁹ (2002) citam também, que as forças de baixa magnitude são mais biológicas, pois, quando aplicadas as células do ligamento periodontal não são prejudicialmente afetadas. Entretanto, mesmo na aplicação de baixas magnitudes de força, pequenas áreas avasculares podem se desenvolver no ligamento periodontal, podendo retardar o movimento dentário, até que estas sejam removidas por reabsorção solapante. Acrescentam ainda que, clinicamente, o movimento dentário ocorre com frequência, de uma forma mais intercalada, por causa da formação das inevitáveis áreas hialinas. Ainda neste contexto, QUINN;YOSHIKAWA¹⁰ (1985) afirmam que a taxa de movimentação dentária é sensível à mudanças na magnitude de força, e que para cada elemento dental, existe uma magnitude de força que o movimentará em uma taxa máxima. Comentam também, que a magnitude de força por si só, não pode ser considerada um parâmetro mecânico para a movimentação dentária, e sim a tensão ou estresse gerado no ligamento periodontal em decorrência da magnitude de força aplicada. Consideram que para se entender a relação entre a magnitude de força e a movimentação dentária é imprescindível que se conheça o conceito de estresse, e o definem como a magnitude de força aplicada por unidade de área. Evidenciam ainda que a mesma magnitude de força aplicada em dentes diferentes, provavelmente, não implicará na mesma taxa de movimentação, pois, o estresse gerado na aplicação da magnitude de força varia inversamente a área sobre a qual a força é aplicada. Fato este, que LEEUWEN et al.¹⁸ (2010) evidenciaram em seu experimento, quando verificaram que molares e pré-molares obtiveram diferentes taxa de movimentação dentária sob a aplicação das mesmas magnitudes de força. Explicam este fenômeno comentando que a relação entre a superfície radicular e a

magnitude de força aplicada é inversamente proporcional no movimento dentário induzido. STOREY¹² (1972) afirma ainda que, uma magnitude de força constante, produzirá uma máxima taxa de movimentação, que varia de acordo com a área da superfície radicular de cada dente em que será aplicada e que sua utilização em práticas clínicas pode diminuir o tempo de tratamento.

Outro aspecto a ser considerado, é o efeito da duração da força ortodôntica no movimento dentário. PROFFIT;FIELDS JR.⁹ (2002), destacam que a força contínua, se for de baixíssima magnitude, produzirá um movimento dentário relativamente uniforme, resultante da reabsorção frontal. Discordando desta afirmação. TONDELLI¹⁷ (2011) observou em sua pesquisa, que a força contínua apresentou áreas hialinas mais extensas quando comparadas às das forças contínua interrompida e contínua intermitente. Acrescenta que, a força contínua interrompida demonstrou ser o melhor tipo de força a ser empregada, visto que apresentou uma quantidade de movimentação dentária semelhante à força contínua, promovendo a formação de áreas hialinas semelhantes à força intermitente. Relacionando a magnitude com a duração da força, BURSTONE¹ (2002) afirma que uma larga gama de magnitudes de força, de leves até pesadas, sendo contínuas, são capazes de mover rapidamente um dente. De acordo com essa afirmação, KILIC;OKTAY;ERSOZ⁵ (2011) concluem que forças de baixa e de alta magnitude são capazes de induzir a movimentação dentária. PILON;KUIJPERS;JAGTMAN⁸ (1996) complementam que não somente com compressões altas, mas também com compressões baixas do ligamento periodontal, o movimento dentário pode ser induzido. YIJIN REN et al.¹⁵ (2004) destacam que uma relação dose-resposta existe, mesmo com a aplicação de forças de magnitudes muito baixas, e que este fato, gera subsídios para a procura de uma magnitude de força ótima ou ideal. Já JARABAK;FIZZELL³ (1975) relatam que uma análise biológica quantitativa absoluta dos efeitos das forças ortodônticas é praticamente impossível. Por sua vez, YIJIN REN; MALTHA;KUIJPERS-JAGTMAN¹⁴ (2003) observaram que a busca de uma magnitude de força ótima para a movimentação dentária ortodôntica é bastante frequente na literatura, porém, ainda não foi possível determiná-la. Contradizendo esta afirmação, PROFFIT;FIELDS JR.⁹ (2002) dizem, que a força de baixa magnitude é a ideal para a movimentação dentária ortodôntica, pois, a pressão que ela exerce, produziria uma resposta biológica mais próxima do ideal, para gerar uma maior taxa de movimentação dentária com o mínimo de danos possíveis ao

ligamento periodontal. YIJIN REN; MALTHA; KUIJPERS-JAGTMAN¹⁴ (2003) acrescentam que, na literatura sobre magnitude de força ótima, não foram encontrados modelos biomecânicos de confiança, a partir dos quais, seria possível mensurar a relação entre magnitude de força e as respostas biológicas que geram, para que se chegasse à determinação de uma magnitude de força ótima para ser utilizada em Ortodontia. Citam também, que a grande variação interindividual, tanto para os estudos em animais, quanto para os estudos em humanos, são fatores que dificultam a obtenção de uma magnitude de força ótima. Entretanto, uma definição para força ótima foi proposta por BURSTONE¹ (2002), sendo, do ponto de vista clínico, a magnitude de força aplicada que produz uma rápida taxa de movimentação dos dentes, sem causar desconforto ao paciente e dano aos tecidos. Do ponto de vista histológico, seria aquela capaz de produzir um nível de pressão no ligamento periodontal que mantenha sua vitalidade e gere uma resposta celular máxima em termos de reabsorção e aposição óssea.

No que diz respeito à relação entre a magnitude da força ortodôntica e a presença de dor, BURSTONE¹ (2002) comentam que, em um tratamento ortodôntico é muito comum o surgimento de dor ou desconforto ao paciente após a instalação e ativação de um aparelho. Justificando esta ideia, PROFFIT:FIELDS JR.⁹ (2002) afirmam, que a dor associada ao tratamento ortodôntico está relacionada com o desenvolvimento de áreas isquêmicas no ligamento periodontal que sofrerão necrose estéril, ou seja, está associada ao processo de hialinização do ligamento periodontal. BURSTONE¹ (2002) afirma que a dor é determinada pelo sistema nervoso central e por mudanças locais de tecidos. Por este motivo, uma avaliação objetiva da dor se torna extremamente difícil, uma vez que indivíduos diferentes irão responder de formas diferentes ao mesmo estímulo de força, dificultando a compreensão da relação entre a magnitude de força e a dor. Acrescentam ainda, que a dor tem uma relação com a magnitude de força aplicada, e que pode ser causada por forças, tanto de baixa, como de elevada magnitudes. Já PROFFIT:FIELDS JR.⁹ (2002) destacam, que a dor é provocada com mais frequência, quando uma força de elevada magnitude é utilizada e, portanto, a utilização de forças de baixa magnitude é fundamental para minimizar a dor durante o tratamento ortodôntico. Citam também, haver uma variação individual dos pacientes em relação às respostas aos estímulos dolorosos causados pela aplicação de forças ortodônticas.

Quanto às limitações deste trabalho, pode-se destacar a diversidade da aparelhagem utilizada para a aplicação das forças nos estudos experimentais. Foi observado que não há a padronização dos mecanismos de aplicação das forças o que, talvez, possa influenciar os resultados. Por exemplo, KILIC;OKTAY;ERSOZ⁵ (2011) utilizaram uma mola de expansão para a aplicação de força, enquanto, TOMIZUKAA et al¹⁶ (2007) utilizaram magnetos de neodímio-ferro-bório. Sendo assim, este fato deve ser questionado e estudado, para que se possa desenvolver aparelhos precisos e padronizados, para possibilitar um melhor entendimento da relação entre a magnitude de força e a movimentação dentária induzida. Outro aspecto, que também pode ter influenciado os resultados é a biodiversidade dos grupos experimentais, tendo OWMAN-MOLL;KUROL;LUNDGREN⁷ (1996) afirmado que as variações individuais mostram-se muito evidentes na taxa de movimentação dentária. Por exemplo, YEE et al¹³ (2009) utilizaram em seu experimento, seres humanos, do gênero masculino e feminino, com idades variando entre 13,0 à 19,5 anos. Por sua vez, TONDELLI¹⁷ (2011) utilizou ratos machos albinos da linhagem *Wistar*.

4. CONCLUSÃO

4. CONCLUSÃO

A partir da revisão de literatura sobre a relação entre a magnitude de força ortodôntica e a taxa de movimento dentário, pode-se concluir que:

1. O movimento dentário ortodôntico ocorre não apenas em função da magnitude de força aplicada, mas sim, pela resposta biológica por ela gerada no periodonto.
2. Tanto as forças de baixa, quanto as de elevada magnitude, são capazes de desencadear o movimento dentário induzido, porém, as de baixa magnitude, são consideradas mais biológicas e parecem produzir um movimento dentário de melhor qualidade.
3. A dor durante o tratamento ortodôntico é provocada, tanto pela aplicação de forças de baixa, quanto de elevada magnitude, sua intensidade é proporcional à magnitude de força aplicada e é influenciada pela variação individual de cada paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BURSTONE, Charles J. Aplicação da Bioengenharia na Ortodontia Clínica. In: GRABER, Thomas M.; VANARSDALL JR., Robert L. **Ortodontia: Princípios e técnicas atuais**. 3ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2002. p. 233-236.
2. DASKALOGIANNAKIS, John. **Glossary of Orthodontic terms**. Berlin, Germany: Quintessence Publ., 2000. p.163.
3. JARABAK, Joseph R.; FIZZELL, James A. **Aparatología del arco de canto con alambres delgados**. 1ªed. Buenos Aires, Mundi 1975. v.1, p. 340-354.
4. KILIÇ, Nihat; OKTAY, Hüsamettin; ERSÖZ, Mustafa. Effects of force magnitude on tooth movement: an experimental study in rabbits. **Eur J Orthod**. Oxford, v.32, p.154-158, Sept., 2009.
5. KILIÇ, Nihat; OKTAY, Hüsamettin; ERSÖZ, Mustafa. Effects of force magnitude on tooth movement: an experimental study in rabbits. **Am J Orthod**. St.Louis, v.140, p.44-50, July, 2011.
6. MOYERS, Robert E. **Ortodontia**. 4ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan , 2002.
7. OWMAN-MOLL, P; KUROL, J; LUNDGREN, D. Effects of a doubled orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An inter-individual study in adolescents. . **Eur J Orthod**. Oxford, v.18, p.141-150, 1996.
8. PILON, Jack J.G.M.; KUIJPERS-JAGTMAN, Anne M.; MALTHA, Jaap C. Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. **Am J Orthod**. St.Louis, v.110, n.p.16-23, July, 1996.
9. PROFFIT, Willian R.; FIELDS JR., Henry W. As bases biológicas da terapia ortodôntica. In: PROFFIT, Willian R.; FIELDS JR., Henry W. **Ortodontia Contemporânea**. 3ªed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan , 2002.p.280-297.
10. QUINN, Robert; YOSHIKAWA, D. Ken. A reassessment of force magnitude in orthodontics **Am J Orthod**. St.Louis, v.87. p.252-260, Sept, 1985.

11. REITAN, Kaare; RYGH, Per; THILANDER, Birgit. Reações teciduais em Ortodontia. In: GRABER, Thomas M.; VANARSDALL JR., Robert L. **Ortodontia: Princípios e técnicas atuais**. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2002. p.101-168.
12. STOREY, Elsdon. The nature of tooth movement. **Am J Orthod**. St.Louis, v.63. p.292-314, May, 1972.
13. YEE, Jason A. et al. Rate of tooth movement under heavy and light continuous orthodontic forces. **Am J Orthod**. St.Louis, v.136, n.2, 150-159, Aug, 2009.
14. YIJIN REN, MALTHA, Jaap C.; VAN'THOF, Martin A.; KUJIPERS-JAGTMAN, Anne Marie. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: A systematic literature review. **Angle Orthod**. New York, v.73, 86-92, July, 2003.
15. YIJIN REN, MALTHA, Jaap C.; VAN'THOF, Martin A.; KUJIPERS-JAGTMAN, Anne Marie. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: A mathematic model. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**. St.Louis, v.125, 71-77, Jan, 2004.
16. TOMIZUKAA, Ryo et al. Avaliação histológica dos efeitos do aumento gradual de uma força de baixa magnitude na movimentação dentária ortodôntica. **Angle Orthod.**, New York, v.77, n.3, p.410-417, July, 2007.
17. TONDELLI, Pedro Marcelo. Avaliação Histomorfométrica da movimentação dentária induzida em ratos com força contínua, contínua interrompida e intermitente. Araçatuba, 2011.
18. VAN LEEUWEN, E.J; KUJIPERS-JAGTMAN, Anne Marie; VON DEN HOFF, J.W.; WAGENER, F.A.D.T.G; MALTHA, Jaap C. Rate of orthodontic tooth movement after changing the force magnitude: an experimental study in beagle dogs. **Orthod. Craniofac**. Oxford, v.13, p.238-245, Aug, 2010.