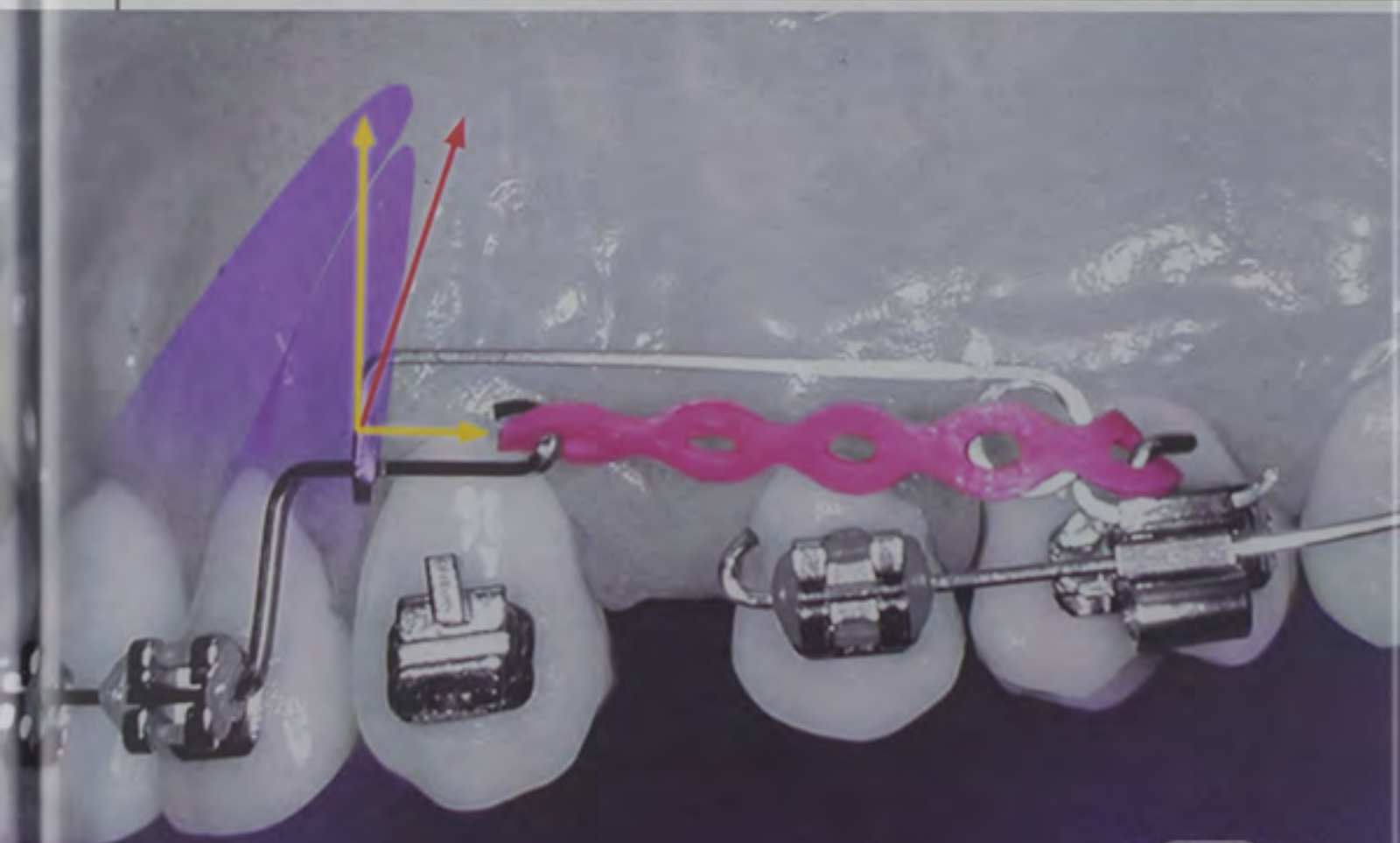



Charles J. Burstone, DDS, MS
Kwangchul Choy, DDS, MS, PhD

-1.400 gr

7 mm

Fundamentos Biomecânicos da Clínica Ortodôntica



 QUINTESSENCE PUBLISHING
BRASIL


quintessence
editora.ltda.

Sumário

Prefácio vii

In Memoriam ix

Colaboradores x

Convenção do Código de Cores para as Forças xi

Parte I. Princípios Básicos e Aparelhos de Força Única 1

- 1 Por que Precisamos da Biomecânica 3
- 2 Sistemas de Forças Concorrentes 11
- 3 Sistemas de Forças Não Concorrentes e Forças em Corpos Livres 25
- 4 Aparelho Extraoral 39
- 5 Uso Criativo de Elástico Maxilomandibular 63
- 6 Forças Únicas e Correção de Sobremordida Acentuada com Intrusão 89
- 7 Correção da Sobremordida Acentuada por Extrusão Posterior 117
- 8 Equilíbrio 135

Parte II. Biomecânica do Movimento Dentário 155

- 9 Biomecânica para Alterar o Posicionamento Dentário 157
- 10 Conceitos 3D no Movimento Dentário 193
Rodrigo F. Vecilli
- 11 Ancoragem Ortodôntica 199
Rodrigo F. Vecilli
- 12 Estresse, Deformação e Resposta Biológica 209
Rodrigo F. Vecilli

Parte III. Terapia por Aparelhagem Avançada 227

- 13** Arcos Linguais 229
- 14** Tratamento com Extrações e Fechamento de Espaço 275
- 15** Forças de Fios e Bráquetes 323
- 16** Aparelhos Estaticamente Determinados e Mecânica Criativa 369
Giorgio Fiorelli e Paola Merlo
- 17** Biomecânica e Tratamento de Deformidades Dentofaciais 389
Mithran Goonewardene e Brent Allan
- 18** Biomecânica dos Mini-implantes 433
Kee-Joon Lee e Young Chel Park

Parte IV. Mecânicas Avançadas de Materiais 451

- 19** Função do Atrito nos Aparelhos Ortodônticos 453
- 20** Propriedades e Estruturas dos Materiais dos Fios Ortodônticos 477
A. Jon Goldberg e Charles J. Burstone
- 21** Como Selecionar um Arco Ortodôntico 491

Parte V. Apêndice 503

- Dicas para Elaboração de um Bom Diagrama de Força* 505
- Glossário* 511
- Respostas das Questões* 515

Índice Remissivo 563

Biomecânica para Alterar o Posicionamento Dentário

“E, no entanto, ela se move.”
— Galileu Galilei

“É muito difícil fazer previsões, especialmente sobre o futuro.”
— Niels Bohr

“Fazer previsões é sempre difícil, especialmente sobre o futuro.”
— Yogi Berra

“Poucas coisa são mais difíceis de suportar do que o aborrecimento de um bom exemplo.”

— Mark Twain

Visão Geral

Este capítulo descreve o correto sistema de força e a magnitude da força ideal para produzir diferentes tipos de movimento dentário. Antes de estabelecer as forças requeridas, um método preciso para descrever o movimento é indispensável. Conceitos tais como um eixo (centro) de rotação ou um “eixo de rosca” podem ser adotados. O movimento dentário inicial é produzido por um binário ou uma linha de ação de força que age através do centro de resistência (CR). Movimentos dentários derivados podem ser produzidos por uma combinação de movimentos básicos, na qual a linha de ação da força passa distante do CR. Teoricamente, todos os eixos de rotação podem ser produzidos por meio de uma força única, com a linha de ação passando sobre o dente ou a uma determinada distância. O ortodontista deve estimar a localização da força e substituí-la por um momento e uma força no bráquete (relação momento/força [M/F]). O sistema de força sofre alterações no transcorrer do movimento dentário; essa análise é parte do sistema de força ideal. Tensão e tração no ligamento periodontal e ossos são mais relevantes do que a força em si na determinação do nível de força a ser utilizada clinicamente.

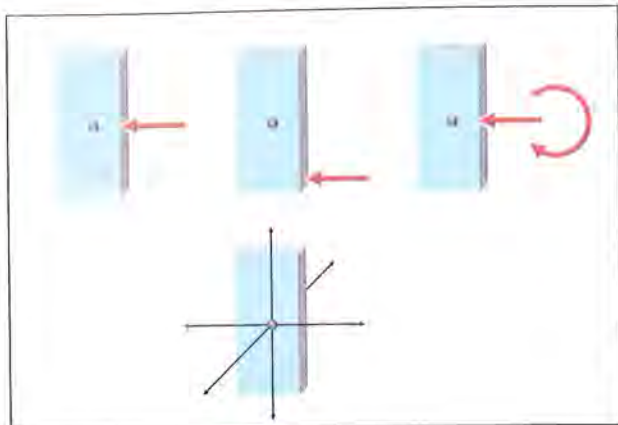


Fig. 9-1 Uma força passa através do CM de um corpo livre causando aceleração linear por translação. Se a força estiver distante do CM, o corpo será submetido a uma combinação de aceleração linear e angular. Cada ponto do CM em um determinado plano projetado a 90 graus forma um eixo, e todos os eixos, independentemente do plano, têm interseção em um ponto comum.

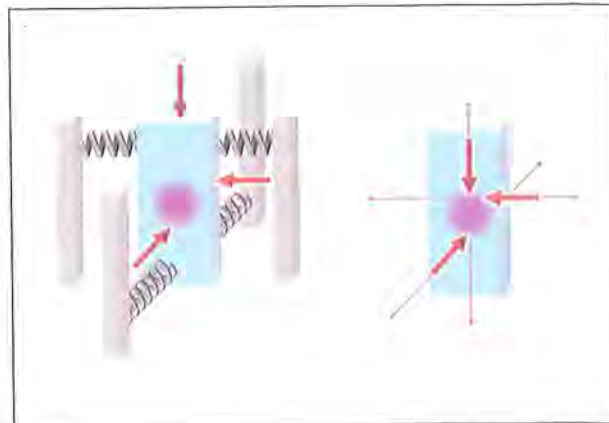


Fig. 9-2 O bloco é preso a molas ligadas aos suportes. Ele se move, mas não acelera. A força agindo em um ponto chamado CR move o bloco retangular por translação. Cada ponto do CR projetado a 90 graus forma um eixo, mas todos os eixos vermelhos não se cruzam em um mesmo ponto. Portanto, devido às incógnitas, o CR normalmente é representado por um círculo (em 2D) ou uma esfera (em 3D) em vez de um ponto.

A essência do tratamento ortodôntico envolve movimento dentário, reabsorção óssea, crescimento, e sobretudo uma remodelação geral efetuada pelo sistema de força. Este capítulo discute a relação entre o sistema de força e as alterações no posicionamento dentário.

Qual é o sistema de força ideal para o movimento dentário? Para responder a essa questão, devemos considerar vários fatores. Qual a magnitude da força a ser aplicada? A força deve ser contínua, contínua interrompida ou intermitente? A força movimentará corretamente o elemento dentário para a posição desejada? A preocupação aqui é a descrição quantitativa dos tipos de deslocamento dentário, como mover o dente da posição A para a posição B, e qual o sistema de força necessário para esse movimento. Qual a diferença no sistema de força quando o objetivo é inclinar um incisivo, transladar ou somente movimentar a raiz para lingual?

Corpos Livres e Contidos

Imagine um corpo retangular livre no espaço. Uma força aplicada no centro da massa (CM) produzirá uma aceleração linear (Fig. 9-1). Se a força for deslocada para um ponto diferente do CM, esse corpo sofrerá uma ação combinada de aceleração linear e angular. Um momento ou binário produz somente aceleração angular ao redor do CM.

O dente não é um corpo livre, mas sim um corpo contido pelo ligamento e outras estruturas periodontais, além da estrutura óssea. Imagine agora o bloco da figura 9-1 como sendo um corpo contido e mantido em posição por molas fixadas a ele (Fig. 9-2). Ao apli-

car uma força neste corpo, não há aceleração. O bloco retangular suspenso pelas molas pode ser considerado uma estrutura que sofre deformação. As forças que agem em um ponto denominado CR farão com que o bloco retangular mova-se por translação. O CR é análogo ao CM (o ponto no qual a força provoca translação), mas com localizações totalmente diferentes. Para um objeto, o CM é um ponto espacial tridimensional (3D). Cada ponto projetado a 90 graus forma um eixo, e todos eles, independentemente de qual plano esteja, irão se cruzar em um único ponto, o que não é necessariamente verdadeiro para corpos contidos (observe na figura 9-2 que os eixos na cor vermelha não se interceptam em um ponto único). A localização do CR de um dente ou grupo de dentes é influenciada por vários fatores. A direção da força pode alterar a localização do CR, pois o dente não é morfologicamente simétrico, e o ligamento periodontal tem propriedades assimétricas (anisotropia). No decorrer do movimento dentário podem ocorrer alterações biológicas que alteraram o comprimento radicular e/ou as propriedades do ligamento periodontal. Portanto, o CR (ou, em 3D, eixo de resistência) pode sofrer ligeira alteração durante o tratamento.

Um dente com um CR representado por um único ponto nas três dimensões é um caso especial de ligamento periodontal ideal isotrópico. Felizmente, grandes assimetrias e variações não são a regra. Assim, na prática, o conceito de CR é útil e válido. O melhor é imaginarmos o CR de um dente como um círculo (uma esfera em três dimensões) em vez de um ponto. Embora o capítulo 10 analise os eixos de resistência e rotação em três dimensões com mais detalhes, este

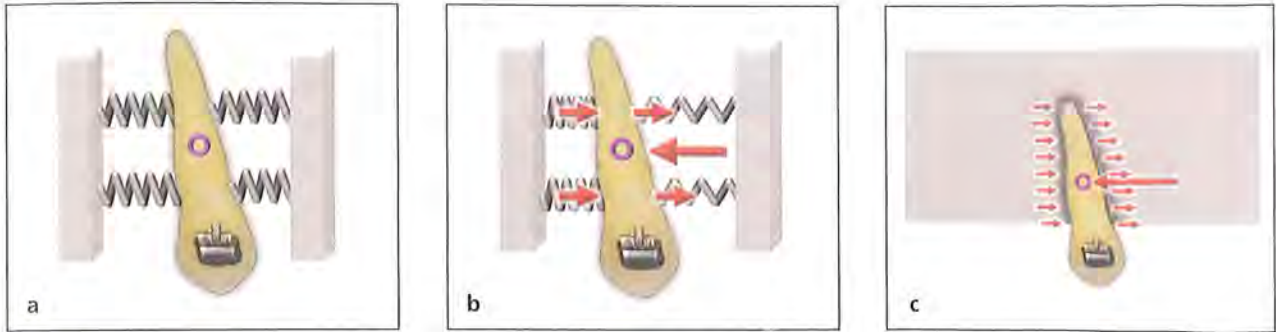


Fig. 9-3 Modelo dentário simplificado suportado por mola. (a) Estado passivo. (b) Uma força é aplicada no CR, que causa translação do dente. O dente se move, mas mantém o equilíbrio pela compressão da mola em um lado e distensão no lado oposto. (c) Modelo dentário realístico. A força aplicada está balanceada pela soma de todas as tensões compressivas, resistência à tração (*pequenas setas vermelhas*) e tensão de cisalhamento no ligamento periodontal.

capítulo apresenta e descreve esses conceitos em duas dimensões.

No capítulo 8, o conceito de equilíbrio foi aplicado ao arco ortodôntico e ao aparelho, mas o dente também está em estado de equilíbrio. Neste mesmo capítulo, um modelo bidimensional (2D) de um dente com elásticos conectados mostra a relação entre forças e deslocamento dentário. Aqui, para simplificar, um modelo de um canino com molas ligadas às raízes é ilustrado na figura 9-3a. A força é aplicada no CR do dente, o que resulta na sua translação (Fig. 9-3b). O dente movimenta-se, mas ainda se encontra em equilíbrio, visto que uma mola se expande e a outra se comprime. O diagrama de equilíbrio (Fig. 9-3c) mostra o dente em equilíbrio, a força aplicada é equilibrada pela soma de todas as forças de compressão e tensão no ligamento periodontal (*pequenas setas vermelhas*). Não se deve confundir o diagrama de equilíbrio do aparelho com o diagrama de equilíbrio do dente: são dois sistemas distintos.

Métodos para Descrever Alterações do Posicionamento Dentário

Antes de relacionarmos corretamente forças ao movimento dentário, é necessário dispor de um método preciso para descrever alterações no posicionamento dentário. Por exemplo, mencionar que um incisivo central deve ser lingualizado é muito vago. O incisivo pode inclinar-se ao redor de um eixo localizado no seu ápice ou no centro da raiz, o que requer sistemas de força completamente diferentes. Outras descrições qualitativas, tais como "vestibularização", "alinhamento" e "abertura de mordida", são muito imprecisas para ser-

vir de base para estabelecer o sistema de força apropriado. Há vários métodos possíveis e válidos para descrever o deslocamento dentário. Analisaremos algumas vantagens de cada método.

Método 1

O incisivo verticalizado na figura 9-4a será intruído e retruído corrigindo a sua inclinação axial. Até agora a descrição é qualitativa e muito vaga. O método 1 descreve a translação e a rotação ao redor do CR do incisivo. O círculo lilás representa o CR, e a linha tracejada liga a posição do CR antes e depois do movimento planejado (Fig. 9-4b). Consequentemente, o trajeto da translação e suas coordenadas x e y podem ser traçados. Os incisivos, além da translação, sofrerão rotação ao redor do CR para alcançar a posição final desejada (Fig. 9-4c). O ângulo total de rotação, a magnitude e a direção da translação definem o movimento dentário (Figs. 9-4d e 9-4e). A rotação ocorre ao redor de um eixo em 90 graus com o plano no qual agem as forças.

Há vantagens e desvantagens neste método. A vantagem é a relação direta entre a força aplicada e o CR (uma força agindo no CR translada o dente, e um binário rotaciona o dente ao redor do CR). A desvantagem é que a posição do CR é uma estimativa, e não um ponto anatômico real. Especialmente em dentes assimétricos e em três dimensões, não existe verdadeiramente um ponto. Entretanto, uma estimativa do CR pode ser corretamente reproduzida traçando uma linha a partir da posição inicial do CR até a sua posição final no traçado de um dente, fornecendo de forma fidedigna a direção da força desejada.

A linha de ação da força aplicada não é necessariamente idêntica ao deslocamento do CR. Uma pequena divergência que não seja clinicamente relevante pode ser ignorada.

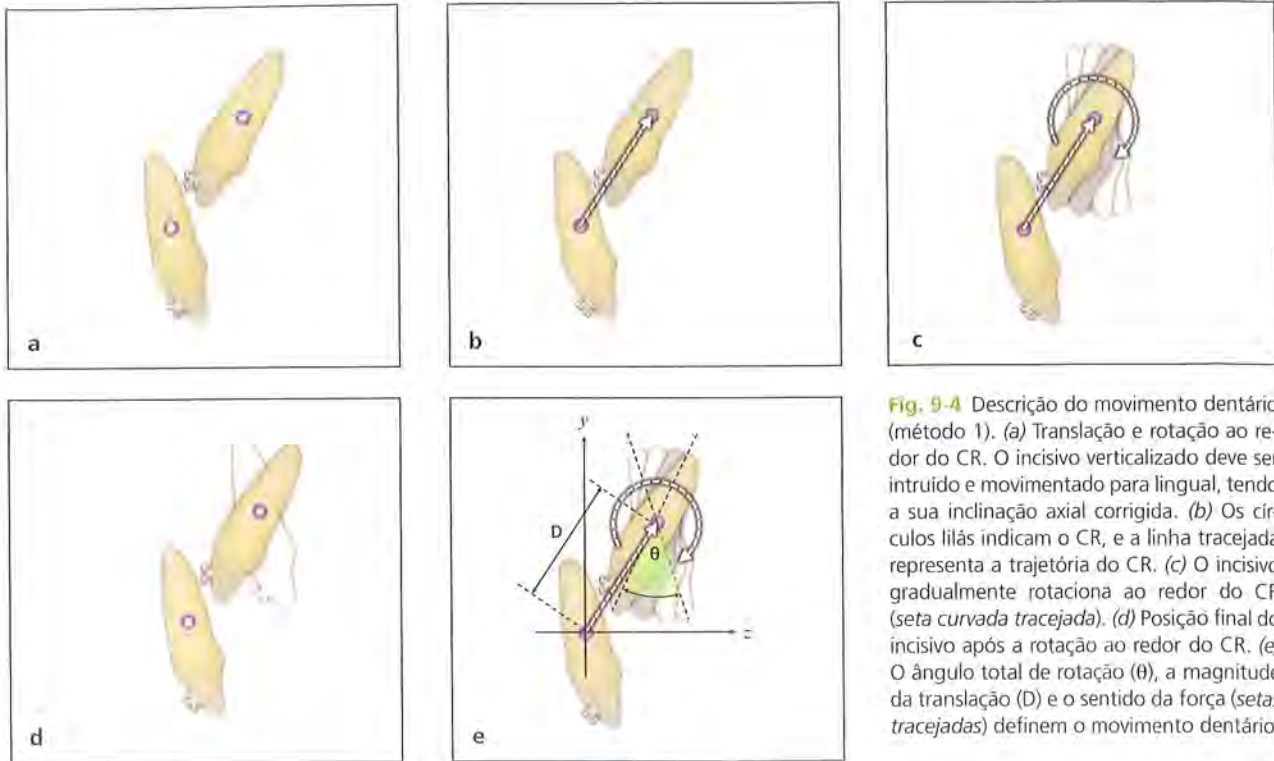


Fig. 9-4 Descrição do movimento dentário (método 1). (a) Translação e rotação ao redor do CR. O incisivo verticalizado deve ser intruído e movimentado para lingual, tendo a sua inclinação axial corrigida. (b) Os círculos lilás indicam o CR, e a linha tracejada representa a trajetória do CR. (c) O incisivo gradualmente rotaciona ao redor do CR (seta curva tracejada). (d) Posição final do incisivo após a rotação ao redor do CR. (e) O ângulo total de rotação (θ), a magnitude da translação (D) e o sentido da força (setas tracejadas) definem o movimento dentário.

Método 2

O método mais comum para descrever o movimento dentário é baseado na alteração da posição do bráquete (método 2). De certo modo, um sistema de coordenadas é integrado ao bráquete. Se o bráquete estiver colado corretamente, além do posicionamento oclusogíngival, são estabelecidos três eixos rotacionais (Fig. 9-5a). E. H. Angle classificou esses eixos como primeira, segunda e terceira ordem. Atualmente, os ortodontistas falam em "torque", "rotação" e "inclinação". Para evitar equívocos, este capítulo descreve rotação ao redor de um eixo x (Fig. 9-5b), um eixo y (Fig. 9-5c) e um eixo z (Fig. 9-5d). Termos como "torque" utilizados para descrever movimento dentário são incorretos. O termo "torque" será utilizado neste capítulo somente para descrever um sistema de força que consiste de um binário ou um momento simples. Ângulos de inclinação ou alterações na inclinação axial não deveriam ser chamados de "torque". Rotação no eixo z ao redor do bráquete altera a inclinação axial mesiodistal, rotação no eixo x altera a inclinação vestibulolingual e rotação no eixo y rotaciona o dente (veja Fig. 9-5). Várias angulações de canaletas, conhecidas como "prescrições", são incorporadas aos bráquetes. Imagine uma sacola cheia de bráquetes soltos; pode ser descrita como uma

sacola de unidades de sistemas de coordenadas. Para cada bráquete (dente), há possibilidade de três translações e três rotações nas três dimensões. O potencial de movimento em uma determinada direção é quantificado como "graus de liberdade". Um dente no espaço possui seis graus de liberdade para total controle. Um aparelho *edgewise* utilizando um fio redondo possui somente cinco graus de liberdade.

O deslocamento dentário baseado no bráquete pode ser descrito de duas formas. A alteração do sistema de coordenadas da posição 1 para a posição 2 pode ser determinada pelo sistema de coordenadas da posição inicial do dente (bráquete) ou pode ser utilizado um sistema de coordenadas comum, longe do dente em questão. Analisaremos o método 2 em que o único sistema de coordenadas está localizado no bráquete (dente). Na figura 9-6, um incisivo será protruído e intruído; o deslocamento foi exagerado para fins demonstrativos. Como ocorre somente translação, não importa a sequência para descrever o movimento dentário. Há três possíveis trajetórias (setas vermelha, azul e cinza), e todas possuem o mesmo ponto final (Fig. 9-6a). Ocasionalmente, o clínico observa o trajeto do bráquete do início ao fim para determinar a direção da linha de ação da força, mas isso é incorreto, exceto em casos especiais de translação dentária nos

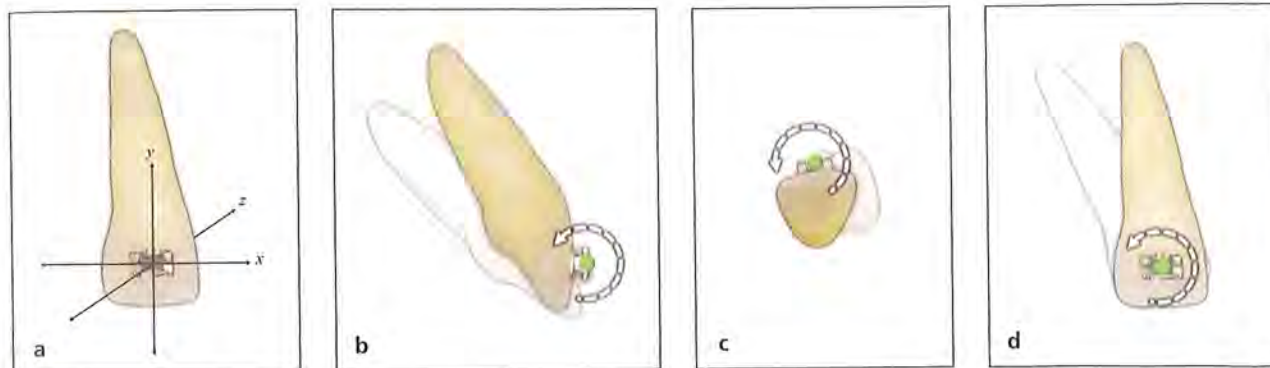


Fig. 9-5 Descrição do movimento dentário por meio das alterações no posicionamento do bráquete (método 2). (a) Um sistema de coordenadas individual é incorporado ao bráquete com os três eixos rotacionais. (b) Eixo x de rotação: rotação de terceira ordem, ou torque. (c) Eixo y de rotação: rotação de primeira ordem, ou rotação. (d) Eixo z de rotação: rotação de segunda ordem, ou inclinação.

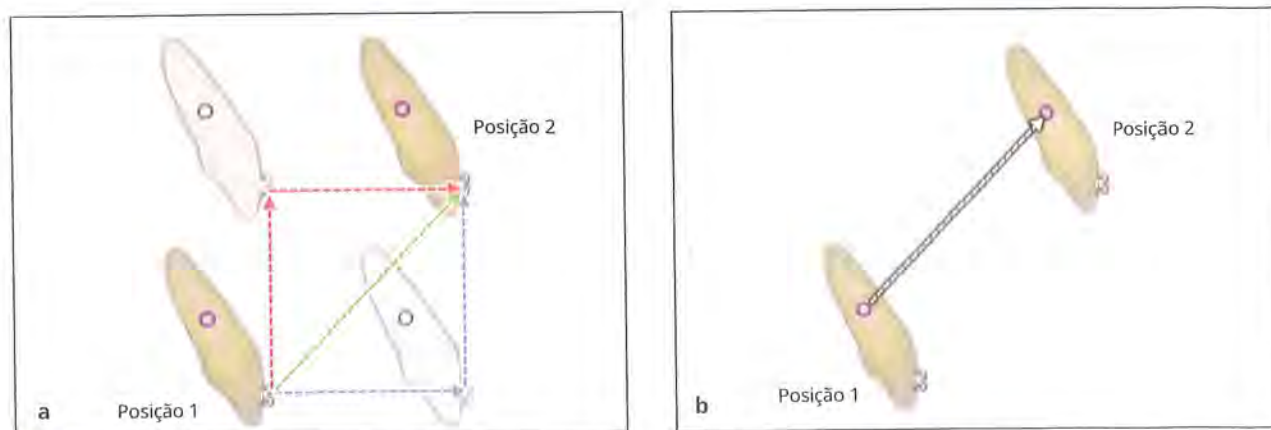


Fig. 9-6 (a,b) Um incisivo é protruído e intruído. Considerando que houve somente movimento de translação, a sequência do movimento não é relevante. Há três possíveis trajetórias (setas vermelha, azul e verde), mas todas possuem o mesmo ponto final. O ortodontista normalmente observa o bráquete para determinar o movimento dentário desejado e avaliar o resultado (a). A trajetória do bráquete e a linha de ação da força necessária para o movimento são idênticas somente quando há translação do dente. O trajeto do CR, o bráquete e a direção da força são paralelos (b).

quais o CR e o bráquete se movem paralelamente. Na figura 9-6b, uma linha ligando o CR da posição 1 à posição 2 é paralela à trajetória do bráquete. Observe na figura 9-6a que as três trajetórias estão corretas. Entretanto, o ortodontista deve selecionar o trajeto mais adequado para chegar ao destino. Esse método para descrever o movimento dentário é simples somente para movimento de translação. Entretanto, torna-se mais complexo quando há também rotação do bráquete ao redor de um eixo ou múltiplos eixos, pois a sequência de rotações leva o dente a posições finais diferentes.

O uso de ângulos para descrever o movimento não é novidade. Um físico famoso chamado Euler relatou em detalhes a utilização adequada de ângulos descritivos, os Ângulos de Euler. O fato interessante de utilizar ângulos para descrever o movimento é que eles não são cumulativos (não podem ser adicionados independentemente da sequência). Por exemplo, uma conta bancária é cumulativa.

$$\$100 + \$50 - \$100 = \$50$$

é o mesmo que

$$\$50 - \$100 + \$100 = \$50$$

O saldo final será o mesmo independentemente da sequência dos depósitos e saques. O mesmo acontece com a translação do bráquete na figura 9-6; a sequência não faz diferença. O incisivo pode ser primeiro movimentado para vestibular e a seguir intruído, ou primeiro ser intruído e a seguir movimentado para vestibular; de qualquer maneira, a posição final será a mesma. Mas isso não é verdadeiro para ângulos – ângulos não são cumulativos.

Observe a inclinação lingual do incisivo na figura 9-7. O sistema de coordenadas é traçado no bráquete. Iremos testar duas trajetórias diferentes. Na figura 9-7a, o incisivo sofrerá inicialmente translação (o dente ilustra-

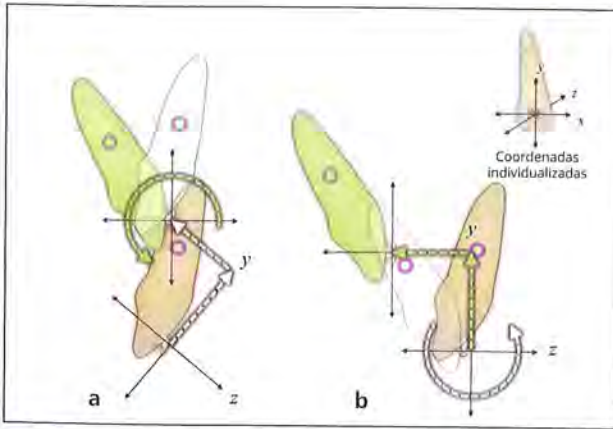


Fig. 9-7 Rotação e translação utilizando um sistema de coordenadas individualizado para cada bráquete. (a) O incisivo inicialmente sofrerá translação (*dente em transparência*) e, a seguir, rotacionará para a sua posição final (*dente na cor verde*). (b) A sequência é alterada: o bráquete do incisivo primeiro é rotacionado (*dente em transparência*) e, a seguir, transladado (*dente na cor verde*). Os ângulos de Euler não são cumulativos. O resultado final depende da sequência dos movimentos.

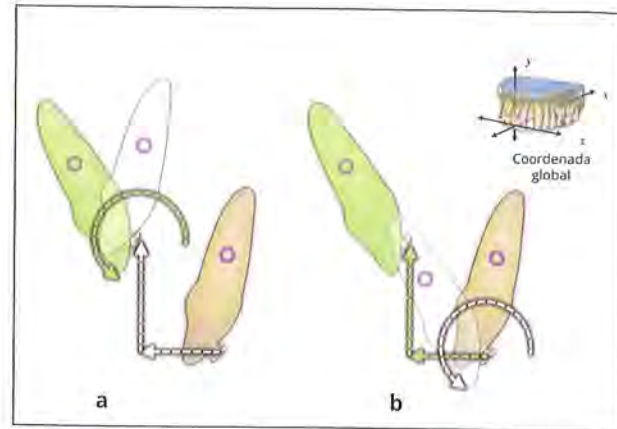


Fig. 9-8 Rotação e translação em cada bráquete medidas a partir de um sistema de coordenadas global. Não faz diferença se o incisivo primeiro é transladado e, então, rotacionado (a) ou rotacionado e a seguir transladado (b).

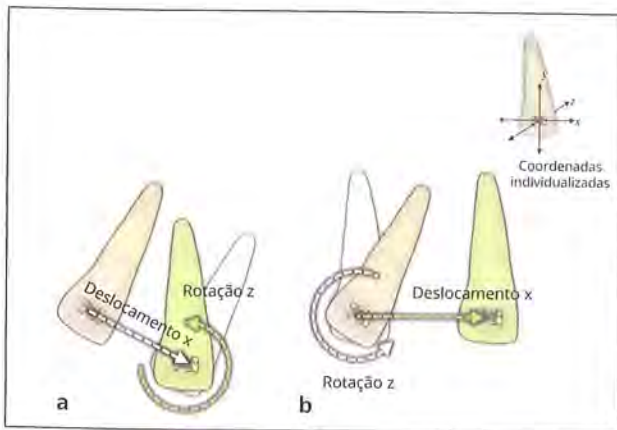


Fig. 9-9 O resultado final do deslocamento no eixo x e da rotação no eixo z depende da sequência dos movimentos. (a) Deslocamento seguido de rotação. (b) Rotação e, a seguir, deslocamento. A posição final do dente (*dente na cor verde*) é condicionada à sequência, e os movimentos não são cumulativos.

do em branco). A seguir, o dente é rotacionado ao redor do eixo x baseado no bráquete, e sua posição final está ilustrada na cor verde. Na figura 9-7b, a sequência é alterada: primeiro o incisivo é rotacionado ao redor do eixo x e, a seguir, transladado. Lembre-se de que o sistema de coordenadas é fixado ao dente. Observe que o dente na cor verde na figura 9-7b tem como destino final uma posição totalmente diferente daquela na figura 9-7a. Este é um exemplo em 2D, ao adicionar rotações em outros planos agravará ainda mais o problema da sequência.

Resumindo, qualquer das três angulações do bráquete indicadas é insuficiente para descrever o movimento dentário até o seu destino final, quando o próprio bráquete for utilizado como o único sistema de coordenadas. A sequência deve ser determinada. Por outro lado, se uma referência adicional externa ou um sistema de coordenadas global for utilizado, a medida de três eixos angulares como referências comuns podem ser su-

ficientes. Uma modificação no método 2 utiliza um sistema de coordenadas global baseado no plano oclusal (Fig. 9-8). Dessa forma, não há diferença se o incisivo for inicialmente transladado e depois rotacionado ao redor do eixo x (Fig. 9-8a) ou rotacionado ao redor do eixo x e depois transladado (Fig. 9-8b).

A figura 9-9 mostra a movimentação em 2D proposta para o incisivo central: deslocamento no eixo x para a esquerda e rotação no eixo z. Sem as coordenadas de uma referência global, o destino final é indeterminado, pois depende da sequência. É importante ter uma prescrição de bráquetes adequada e um correto posicionamento do bráquete no dente, como também conhecer a relação entre o sistema de coordenadas do bráquete e o sistema de coordenadas global. Um arco reto ou uma série de fios entre dois bráquetes pode eventualmente alinhar os dentes. A sequência do alinhamento é determinada pela biomecânica do sistema bráquetes-fio e pela resposta biológica, e não é regida por uma sequên-

Fig. 9-10 (a) Quando se aplica um binário no bráquete, o dente rotaciona ao redor do CR. (b) Para rotacionar ao redor do bráquete, devemos aplicar, além do binário, força lingual. (c) Alguns ortodontistas acreditam que torção no arco retangular, quando inserido no bráquete, produz um sistema de força que rotaciona o dente ao redor do bráquete, mas não é correto. (d) Trajetória incorreta do bráquete pela ação de um binário.

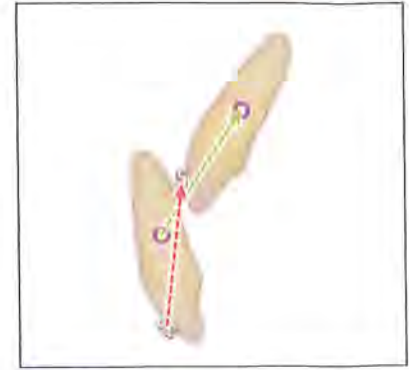
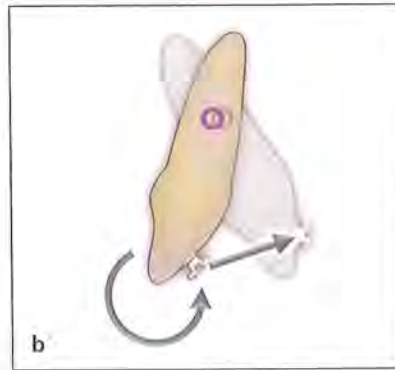
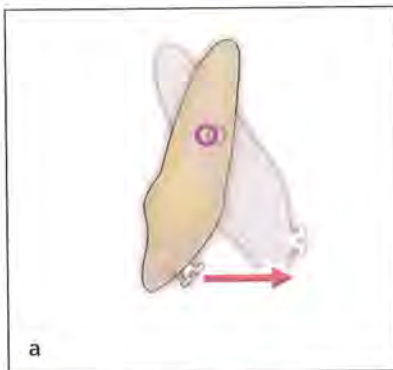
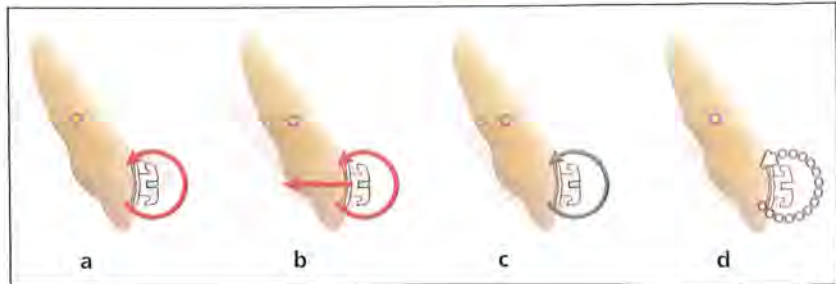


Fig. 9-11 Uma força única aplicada na coroa do dente inclinará o incisivo para vestibular, com o centro de rotação próximo ao CR. (a) Correto sistema de força. (b) Ao observar somente as alterações na posição do bráquete (trajetória do bráquete) não se obtém de forma direta o correto sistema de força. Observe a direção errada da força intrusiva e um momento desnecessário.

Fig. 9-12 Um incisivo é retruído e intruído, com alteração na sua inclinação axial. A força ao longo da trajetória do CR (seta verde) e a rotação ao redor do mesmo proporcionam uma informação útil sobre o movimento dentário e o sistema de força. Uma linha conectando os bráquetes antes e após o movimento (seta vermelha) não corresponde à linha de ação da força.

cia específica de translação e rotação. Além disso, a inclinação do plano oclusal final pode não ser paralela a nenhum plano oclusal original de referência.

No método 2, o posicionamento do bráquete tem a vantagem de fornecer um ponto de referência bem definido durante o tratamento, desde que não seja alterado. Para o ortodontista, é um método fácil de entender e utilizar devido à associação com o aparelho (por exemplo, "Eu tenho que intruir o dente; portanto, devo dobrar o fio fazendo um degrau para cima"). O plano de referência global também deve ser mantido constante, o que pode ser complicado se a maioria dos dentes estiver desalinhada. Infelizmente, a relação entre as alterações no posicionamento dentário e o sistema de força que produz tais alterações, baseado no posicionamento do bráquete, é complexa. Um bom exemplo é uma torção adicionada ao arco ortodôntico, em que o sistema de força em uma situação ideal poderia ser um binário (Fig. 9-10a). Quando o binário é aplicado ao bráquete, alguns ortodontistas acreditam que o dente tende a rotacionar ao redor do bráquete. Para que a rotação ocorra ao redor do dente, é necessária também uma força. Conseqüentemente, podemos esperar

uma possível perda de ancoragem e uma posição final inesperada do dente (Fig. 9-10b). Essa falácia baseia-se com frequência na observação do posicionamento do bráquete antes e depois do movimento dentário, o que leva a crer que qualquer translação indica uma força na mesma direção, e toda rotação implica em um momento (Figs. 9-10c e 9-10d). O sistema de força na figura 9-11a está correto; uma força única aplicada na coroa inclinará o incisivo para vestibular, com o centro de rotação (CRot) perto do CR. Ao observar apenas a alteração da posição do bráquete (Fig. 9-11b), surge uma conclusão equivocada: força intrusiva com direção incorreta e momento desnecessário. Na figura 9-12, um incisivo foi movido para lingual e intruído com alteração na sua inclinação axial. Ao seguir a trajetória do CR (seta na cor verde) e a rotação ao seu redor, obtemos boas informações sobre o movimento dentário, relacionando-o diretamente ao sistema de força. Observe que a linha que conecta a posição do bráquete antes e depois do movimento (seta vermelha) não é a mesma linha da ação da força. A trajetória do bráquete é paralela à trajetória do CR somente em casos especiais de translação.

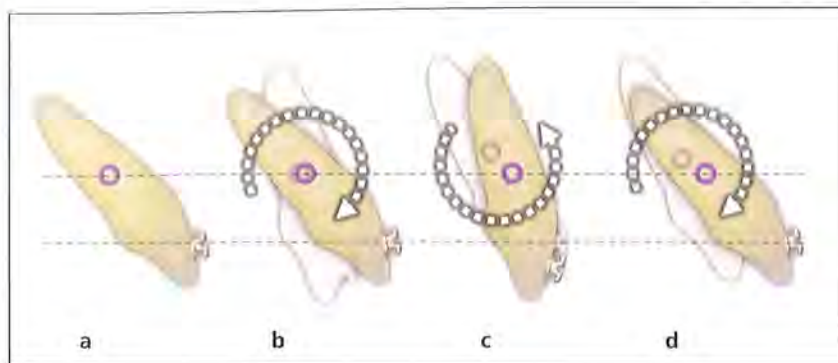


Fig. 9-13 O objetivo é inclinar o incisivo maxilar para lingual e manter o nível oclusogengival do bráquete. (a,b) A inclinação do incisivo para lingual com uma força única e um fio redondo desloca a raiz para a frente (rotação no sentido horário de a a b). (c) No próximo estágio, o CR deve ser intruído e distalizado com rotação ao redor do CR para corrigir a inclinação axial no sentido vestibulolingual (rotação no sentido anti-horário). (d) Movimento mais direto com rotação no sentido horário. Observe que as alterações na trajetória do bráquete não correspondem ao deslocamento do CR

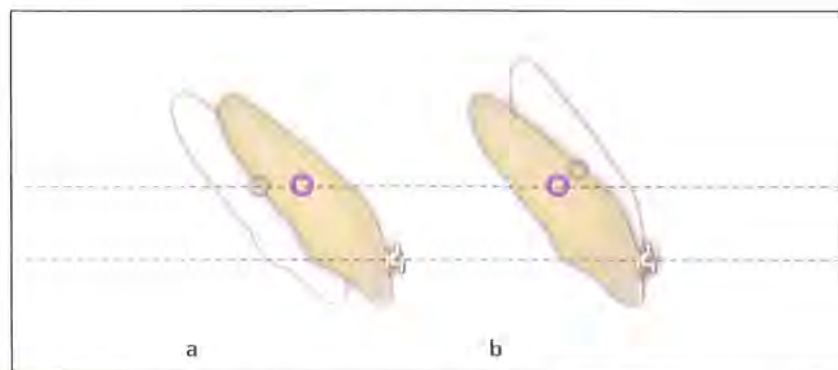


Fig. 9-14 O nível oclusogengival da trajetória do bráquete não se altera de a para b. É paralela à trajetória do CR somente durante a translação (a).



Fig. 9-15 Molar mandibular inclinado para lingual. Uma força única proveniente de um elástico cruzado poderia alinhar corretamente o molar em apenas uma etapa.

Consideremos um bráquete com a mais recente e inovadora prescrição, de maneira que os dentes estejam perfeitamente alinhados em um fio reto e com inclinação correta do plano oclusal, podemos observar uma oclusão perfeitamente tratada. O problema é: no início do tratamento da malocclusão, qual a rotação que devemos realizar primeiro (rotação no eixo x, y ou z)? Em razão de os ângulos dos eixos serem sensíveis à sequência, e na ausência de um bom plano de referência, não fica claro qual a melhor sequência.

Com uma prescrição idêntica das angulações dos bráquetes, os resultados finais podem variar dependendo da sequência do movimento dentário. Há uma infinidade de possibilidades, pois não é determinada somente pela prescrição das angulações. O ortodontista deve determinar a melhor trajetória do movimento dentário desde a sua posição inicial até a posição final ao fim do tratamento. Talvez, o melhor seria o movimento em etapas, e não uma série de rotações independentes. O bráquete e um fio reto, baseado nas forças liberadas por um aparelho, eventualmente podem alinhar os dentes, mas talvez a sequência não seja a mais adequada para uma determinada situa-

ção, assim movimentos dentários inadequados podem ocorrer durante o período.

Em outro exemplo, o objetivo é inclinar o incisivo maxilar para lingual mantendo o bráquete no mesmo nível oclusogengival. Uma possibilidade (Fig. 9-13) é utilizar um fio redondo e uma força única, que inclina o incisivo para lingual e desloca a raiz para mesial (Figs. 9-13a e 9-13b). Nenhuma força intrusiva é aplicada, de maneira que a posição do CR quase não se altera. A seguir (Fig. 9-13c), o CR deve ser intruído e distalizado para corrigir a inclinação axial vestibulolingual. O movimento mais direto está ilustrado na figura 9-13d. Observe que a trajetória do bráquete difere da trajetória do CR. A figura 9-14 mostra outra possibilidade: translação lingual do bráquete seguida de rotação no eixo x ao redor deste. Nas figuras 9-13 e 9-14, observa-se que seguir a trajetória e a rotação ao redor do CR é mais eficaz do que planejar a mecânica com base somente na alteração no posicionamento do bráquete. As angulações tridimensionais incorporadas aos bráquetes são inquestionavelmente úteis durante a fase de finalização, quando a inserção de um fio reto promove os ajustes finais da oclusão. Mas é uma falácia pensar que isso pode ditar corretamente a sequência do movi-

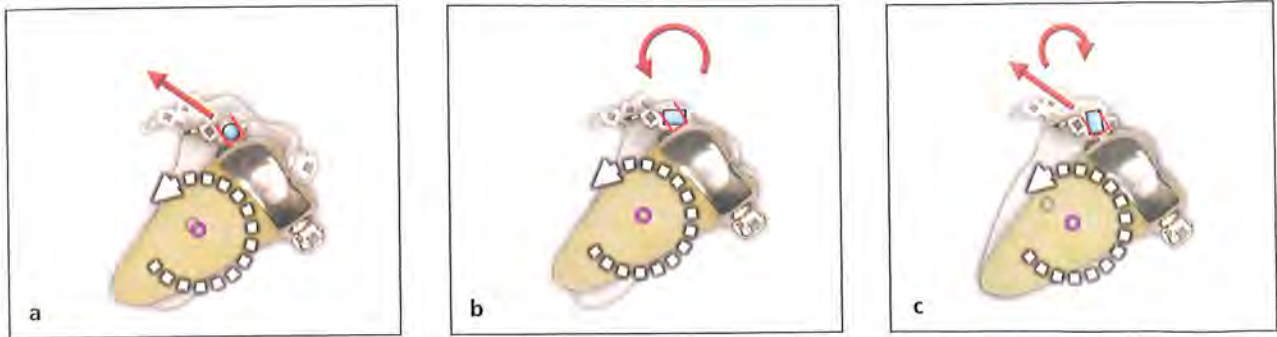


Fig. 9-16 (a) Se for utilizado um arco ortodôntico, o arco redondo é o mais adequado, pois não são necessários momentos. (b) Quando for necessária rotação ao redor do CR não há indicação para o torque, pois a força para vestibular é mais eficiente. (c) Para um CRot localizado no ápice, a direção do torque deve ser invertida, seguida de força vestibular aplicada ao bráquete. A direção da rotação do dente (*linha tracejada*) é a mesma para cada um dos sistemas de força.

Fig. 9-17 Os pilotos controlam a aeronave considerando as rotações em 3D: eixo longitudinal (x), eixo vertical (y) e eixo transversal (z), e não podem utilizar uma série de comandos de rotação indiscriminadamente, sem relação com um sistema de coordenadas remoto. Uma série de manobras harmonizadas, tais como: fazer uma curva à direita com rotação seguida de uma ligeira inclinação do bico do avião para cima, quando quiser curvar à direita mantendo a altitude. A sequência dos controles é fundamental. Simplesmente controlar o leme para dar uma guinada derrubará o avião. Podemos esperar que um fio reto automaticamente permita um movimento harmônico?



mento dentário ou fornecer o sistema de força correto necessário durante o tratamento. Mais uma vez, o raciocínio é dever do ortodontista, e não do aparelho.

Portanto, o método 2, para descrever o movimento dentário, pode levar a uma trajetória ineficiente ou até mesmo equivocada; além disso, a direção da força e momento não tem relação direta com as angulações dos bráquetes e com a translação. Por exemplo, imagine uma maloclusão na qual um molar mandibular está inclinado para lingual. Uma única força proveniente de um elástico cruzado poderia trazer o molar para um bom alinhamento em apenas uma etapa de tratamento (Fig. 9-15). Se for utilizado um arco ortodôntico, o mais indicado seria utilizar um fio redondo, pois não há necessidade de momentos (Fig. 9-16a). Se for preciso manter o ápice da raiz em posição, é necessário aplicar um torque no sentido inverso seguido de uma força no bráquete (Fig. 9-16c). Observe que alguns tipos de movimento requerem torque enquanto outros não. A simples observação da angulação do bráquete, sem entender as forças e os momentos envolvidos, leva à aplicação de um torque de maneira inadequada.

Os ortodontistas não são os únicos profissionais que utilizam ângulos de Euler com uma terminologia inusitada (inclinação, torque e rotação). Os pilotos de aviões controlam as aeronaves levando em consideração as rotações em 3D (Fig. 9-17): eixo longitudinal (x), eixo vertical (y) e eixo transversal (z), e não podem utilizar uma série de comandos de rotação indiscriminadamente, sem relação com um sistema de coordenadas remoto. Uma série de manobras harmonizadas, tais como: fazer uma curva para a direita com rotação seguida de ligeira inclinação do bico do avião para cima, quando quiser curvar à direita mantendo a altitude. A sequência dos controles é muito importante. Simplesmente mover o leme para dar uma guinada derrubará o avião.

Método 3

O método 3, para descrever o deslocamento dentário, consiste em estabelecer o centro de rotação (CRot) em duas dimensões ou em um eixo de rotação em três dimensões. O procedimento é o seguinte:

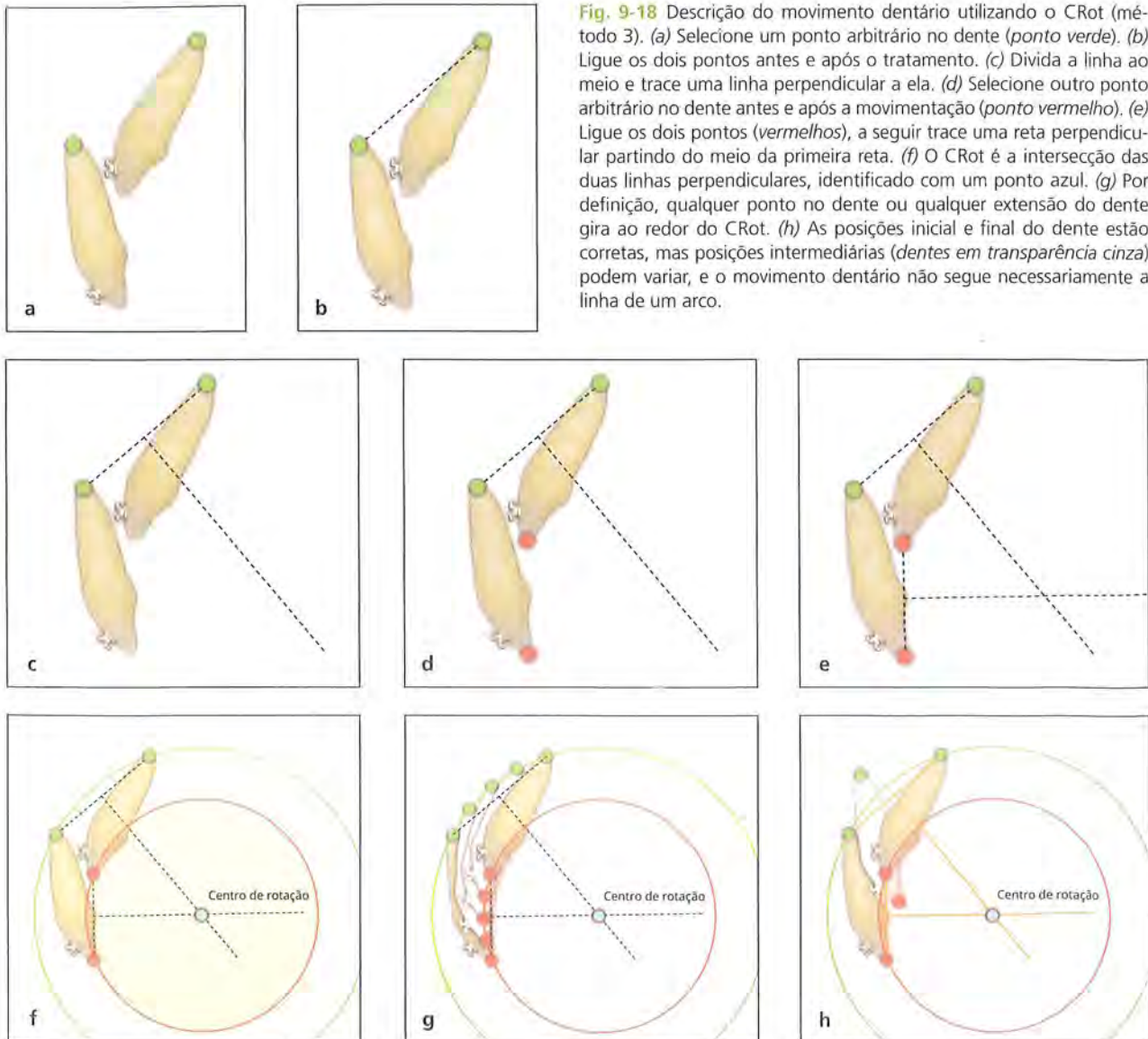


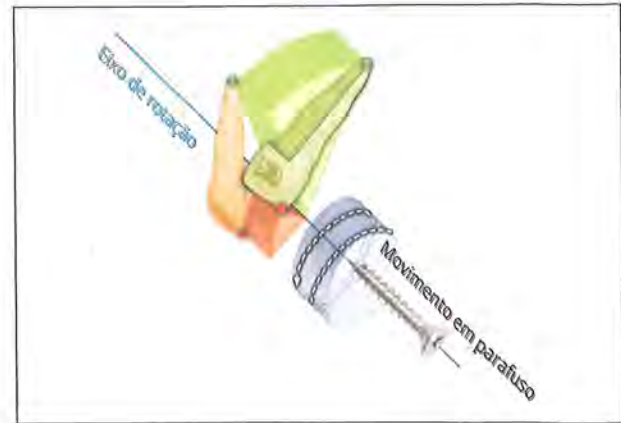
Fig. 9-18 Descrição do movimento dentário utilizando o CRot (método 3). (a) Seleção de um ponto arbitrário no dente (*ponto verde*). (b) Ligue os dois pontos antes e após o tratamento. (c) Divida a linha ao meio e trace uma linha perpendicular a ela. (d) Seleção de outro ponto arbitrário no dente antes e após a movimentação (*ponto vermelho*). (e) Ligue os dois pontos (*vermelhos*), a seguir trace uma reta perpendicular partindo do meio da primeira reta. (f) O CRot é a intersecção das duas linhas perpendiculares, identificado com um ponto azul. (g) Por definição, qualquer ponto no dente ou qualquer extensão do dente gira ao redor do CRot. (h) As posições inicial e final do dente estão corretas, mas posições intermediárias (*dentes em transparência cinza*) podem variar, e o movimento dentário não segue necessariamente a linha de um arco.

1. Identifique um ponto de referência arbitrário no dente. Nesse caso, localizado no ápice (*ponto verde*) (Fig. 9-18a).
2. Marque o ponto de referência no dente antes e após o movimento.
3. Ligue os dois pontos (Fig. 9-18b).
4. Trace a bissetriz perpendicular a partir da linha obtida.
5. Marque um segundo ponto de referência arbitrário no dente antes e após o movimento (bordo incisal, *ponto em vermelho*). Teoricamente, o primeiro e o segundo pontos de referência podem ser marcados em qualquer lugar; entretanto, recomenda-se marcar o primeiro (*ponto verde*) e o segundo (*ponto vermelho*) o mais distante possível um do outro para aumentar a exatidão da intersecção.

6. Ligue os dois pontos de referência (*pontos vermelhos*) e trace uma linha perpendicular a partir do ponto médio (Fig. 9-18e). O CRot localiza-se na intersecção das duas linhas bissetrizes, representado por um ponto em azul (Fig. 9-18f). Por definição, qualquer ponto no dente ou qualquer extensão deste (tais como um bráquete ou braço de força) rotaciona ao redor deste centro de círculos concêntricos.

Observe que a sequência de todos os deslocamentos intermediários do dente segue uma trajetória circular, enquanto a trajetória do movimento dentário entre dois pontos é em linha reta. Na verdade, as posições inicial e final do dente estão corretas, ao passo que as posições intermediárias variam, e o movimento do den-

Fig. 9-19 Descrição universal do movimento dentário em 3D. “Movimento em parafuso” ao longo do eixo de rotação. Observe que é um parafuso de torque à esquerda, o que significa que uma rotação no sentido anti-horário apertará o parafuso.



te não necessariamente segue uma trajetória circular (Fig. 9-18h). Por essa razão, em rigor, o CRot é denominado “centro de rotação instantâneo”.

Há várias limitações no conceito do CRot. Primeiro, por ser bidimensional. Para descrever o movimento dentário em três dimensões, utiliza-se um eixo de rotação. Uma linha perpendicular a um plano 2D pode formar um eixo de rotação. O dente pode rotacionar ao redor do eixo em 3D. Um eixo de rotação não precisa necessariamente estar localizado no próprio dente; por exemplo, um eixo de rotação pode estar em qualquer lugar fora do dente (x , y e z), em qualquer ângulo em relação ao sistema de coordenadas comum ao dente. Naturalmente, torna-se difícil para o ortodontista visualizar o movimento dentário e relacioná-lo a um aparelho. É mais fácil para o ortodontista utilizar projeções perpendiculares, que são comuns e mais intuitivas de se visualizar. Embora possa parecer que o eixo de rotação em 3D define a maioria dos tipos de movimento dentário, há situações especiais que não se aplicam. Nagerl et al. sugeriram uma técnica universal utilizando o conceito do movimento de um parafuso¹ (Fig. 9-19), o qual inclui um eixo de rotação com uma translação simultânea ao longo do seu eixo. O movimento do parafuso ao longo do eixo de rotação pode descrever qualquer movimento em 3D. O eixo de rotação é momentâneo, ou seja, descreve somente as posições antes e depois, e não a trajetória intermediária do movimento dentário. Para simplificar, e em razão de a Ortodontia e a Biomecânica em 3D estarem dando seus primeiros passos, este livro utiliza imagens em 2D do CRot na maioria das discussões. O capítulo 10 analisa o deslocamento em 3D e sua biomecânica.

Sistema de Força e Movimento Dentário

Os parágrafos seguintes tratam da relação entre sistemas de força e padrões de deslocamento dentário, baseados em pesquisas utilizando análises teóricas, técnicas numéricas, como análise de elemento finito, estudos experimentais em humanos e animais, e mensurações diretas utilizando transdutor, reflexão de *laser* e interferometria holográfica. Os estudos vão de medidas cefalométricas macroscópicas a comprimento de ondas microscópicas.

Movimento Dentário Básico

Os dois tipos básicos de movimento dentário são translação e rotação ao redor do CR. Por definição, em um modelo ideal, uma força com uma linha de ação passando através do CR (*seta vermelha* na Fig. 9-20) produz translação (*seta tracejada* na Fig. 9-20). Todas as partes do dente movem-se paralelas ao vetor de força. Em muitos livros de Ortodontia, esse movimento é chamado de “movimento de corpo”. Um simples momento ou binário irá rotacionar o dente ao redor do CR (Fig. 9-21). Para simplificar, estima-se que o movimento dentário (*seta tracejada* na Fig. 9-20) seja paralelo à força aplicada (*seta vermelha*). Embora seja uma estimativa aceitável, pesquisas recentes mostram que não corresponde exatamente à realidade em situações especiais.²

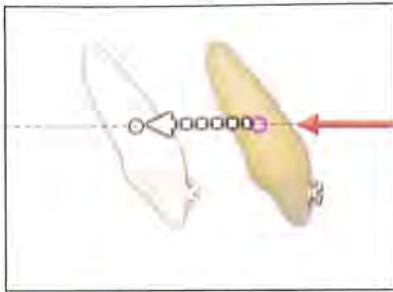


Fig. 9-20 Uma força com a linha de ação agindo através do CR (seta vermelha) produz translação (seta tracejada). Todas as partes do dente movem-se paralelas ao vetor da força. Em muitos livros de Ortodontia, este movimento é chamado "movimento de corpo".

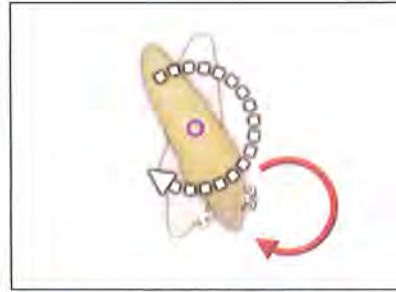


Fig. 9-21 Um momento (binário) rotaciona o dente ao redor do CR.

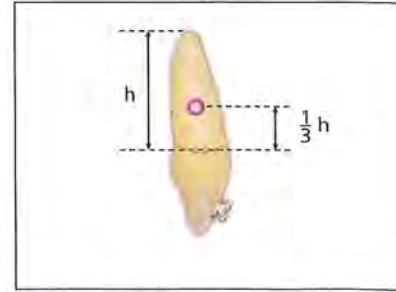


Fig. 9-22 Pesquisas mostram que o CR de um dente unirradiclar, simétrico, com raiz em forma de parábola (3D) está posicionado aproximadamente a um terço da distância da crista alveolar ao ápice, medida a partir da crista alveolar.

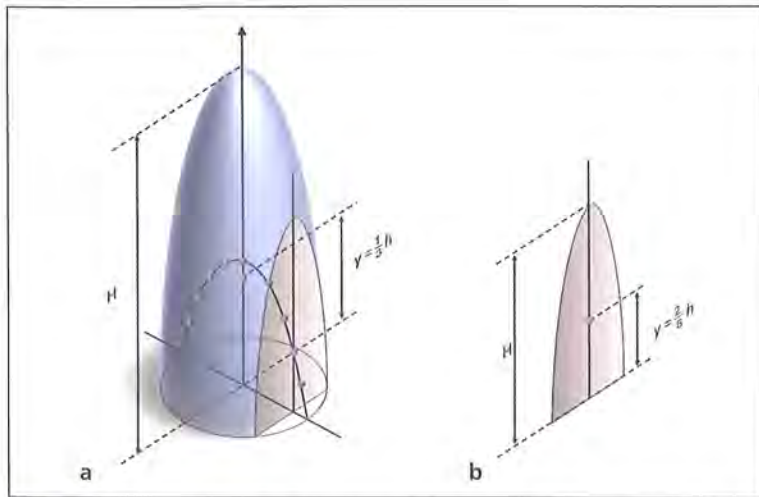


Fig. 9-23 (a) O centroide (CM) de um parabolóide de revolução localiza-se também a um terço da distância, no qual os cálculos independem da maioria dos estudos do CR. (b) Teoria da concha, modelo que melhor representa o ligamento periodontal como uma série de finas conchas em 2D (centroide a cada dois quintos da distância, pontos cinzas) recobrimo a parabolóide de revolução, também alcança um terço da distância (pontos vermelhos em a).

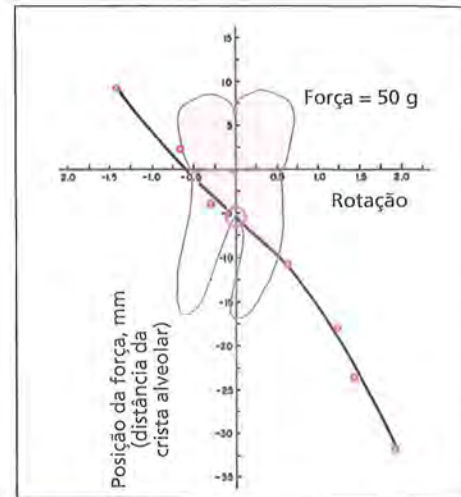


Fig. 9-24 O CR do molar mandibular está próximo à bifurcação. (Reproduzido de Burstone et al.⁴ com permissão.)

As pesquisas mostram que o CR de um dente unirradiclar, simétrico, com a raiz em forma de parábola (3D), está posicionado aproximadamente a um terço da distância da crista alveolar ao ápice, a partir desta (Fig. 9-22). É interessante observar que o centroide (CM) de um parabolóide de revolução localiza-se também a um terço da distância, onde os cálculos independem da maioria dos estudos do CR (Fig. 9-23a). A teoria da concha (Fig. 9-23b), que pode melhor representar o ligamento periodontal como uma soma de várias conchas finas em 2D (centroide a cada dois quintos da distância, pontos cinzas), recobrimo a parabolóide de revolução, também alcança um terço da distância (pontos vermelhos na Fig. 9-23a). Estima-se que o CR de um molar esteja perto da trifurcação ou da bifurcação⁴ (Fig. 9-24).

A localização do CR é relativamente independente da magnitude da força aplicada se a tensão no ligamento periodontal for baixa (Fig. 9-25). Entretanto, se a magnitude da força for grande o suficiente, além do ligamento periodontal, o osso alveolar ou até mesmo o dente será submetido a uma deformação não linear; consequentemente, a localização do centro de resistência pode mudar com a magnitude da força. Este capítulo considera o CR e o CRot independentemente da magnitude da força e leva em conta somente o deslocamento dentário no espaço do ligamento periodontal, não o osso adjacente. Isso simplifica o entendimento e a apresentação da biomecânica do movimento dentário. Estudos complementares são necessários para melhor definir a relação entre magnitude da força ou momento e o CRot. Obser-

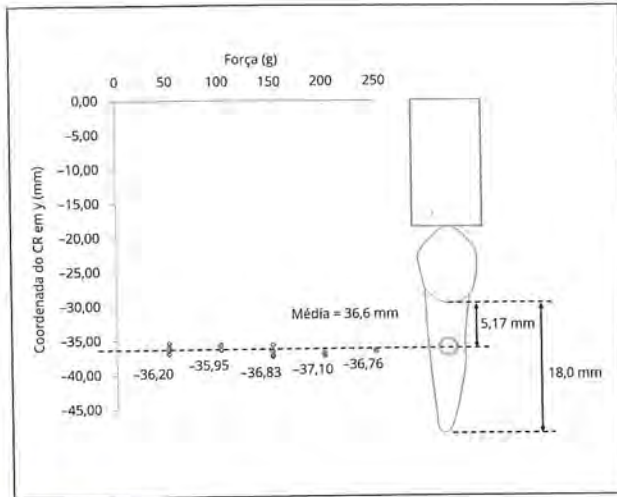


Fig. 9-25 A localização do CR é relativamente independente da magnitude da força aplicada se a tensão no ligamento periodontal for baixa.

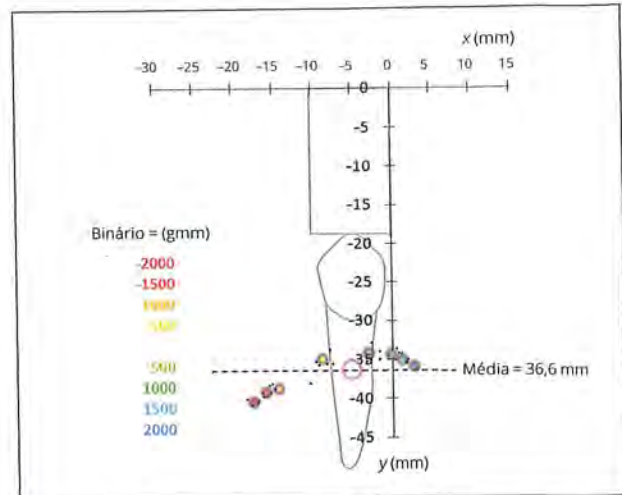
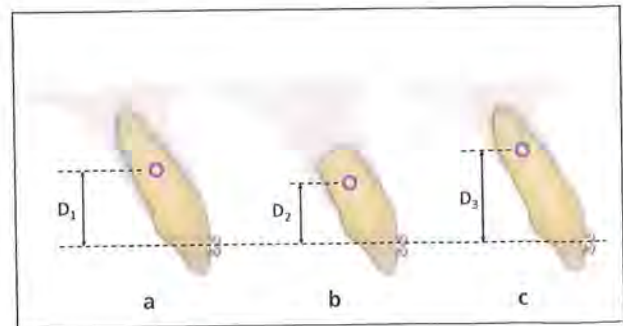


Fig. 9-26 Quando a magnitude do binário é aumentada, o CRot move-se horizontalmente; isto é, o dente extruiu mais com o aumento do binário.

Fig. 9-27 Implicações clínicas do CR em três situações. (a) Uma típica relação M/F de 10 mm no bráquete será equivalente a uma força que passa através do CR (D_1). (b) Diante de uma reabsorção radicular significativa, é necessária uma relação M/F menor (D_2). (c) Paciente adulto com acentuada perda óssea alveolar requer uma elevada relação M/F para transladar o dente em direção lingual (D_3).



ve que, em um estudo no qual a magnitude do binário foi aumentada, o CRot moveu-se horizontalmente; isto é, o dente extruiu mais com o aumento do binário (Fig. 9-26). Esse estudo não diferenciou o movimento dentário produzido pela tensão do ligamento periodontal daquele produzido pela deformação do osso alveolar.²

Mais estudos ainda são necessários para identificar a localização do CR de todos os dentes em todos os planos, de um grupo de dentes (segmentos) e de todo o arco. Essa informação é imprescindível mesmo desconsiderando a complexidade de um CR em 3D. Devemos reconhecer que existem variações significativas entre os pacientes com morfologias radiculares variadas, periodonto e alterações periodontais durante o tratamento.

Veja as implicações clínicas dos três incisivos centrais mostrados na figura 9-27. Na figura 9-27a, uma relação M/F arbitrária e típica de 10 mm no bráquete será equivalente a uma força agindo no CR. Na figura 9-27b, a quantidade de reabsorção radicular indica redução da relação M/F. Na figura 9-27c, um paciente adulto, com maior perda óssea alveolar, requer maior relação M/F para transladar o dente para lingual. A

mecânica de deslizamento causaria grande atrito no elemento c. Como mencionado anteriormente, o CR não deve ser considerado um ponto, mas sim um círculo em 2D em razão das variações. Mesmo com essas limitações, o CR é um conceito útil para aplicação na clínica diária.

Um momento simples ou binário rotaciona o dente ao redor do CR. Um binário aplicado no bráquete do incisivo em diferentes posições (Fig. 9-28) produz rotação ao redor do CR, e não ao redor do bráquete como imaginam alguns ortodontistas. Se forem aplicados binários de mesma magnitude em diferentes pontos do dente ou até mesmo em uma extensão deste, a ação será a mesma. Rotação ao redor do bráquete requer um binário e uma força. Os binários são vetores livres, e, ao contrário das forças, o ponto de aplicação não altera o tipo de movimento. Observe também na figura 9-29 que a direção do binário (duas forças iguais e opostas) é irrelevante desde que a magnitude dos momentos seja a mesma.

A visualização de um binário como um vetor livre rotacionando um dente ao redor do CR pode ser compli-

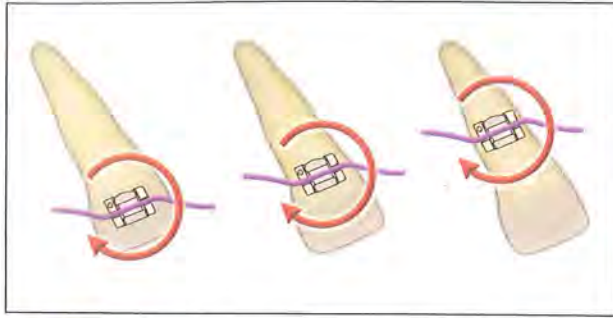


Fig. 9-28 Binário aplicado no incisivo com o bráquete em diferentes posições; todas as forças são iguais.

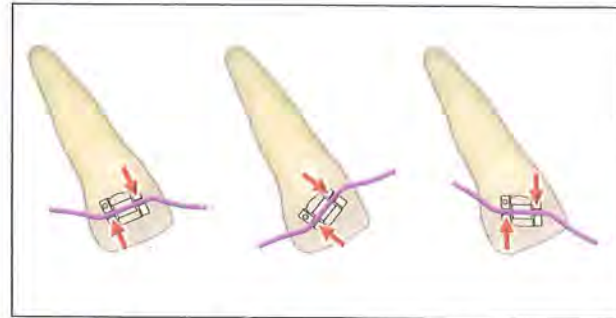


Fig. 9-29 As direções de duas forças iguais e de sentidos opostos que compõem um binário não alteram o sistema de força. Todos os três incisivos sofrerão rotação ao redor do CR.

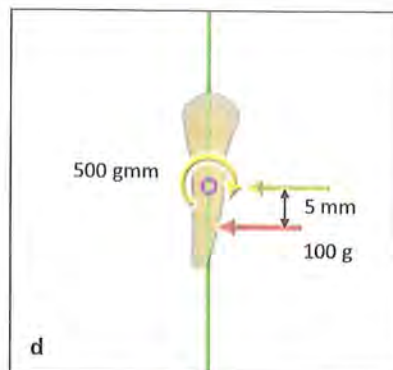
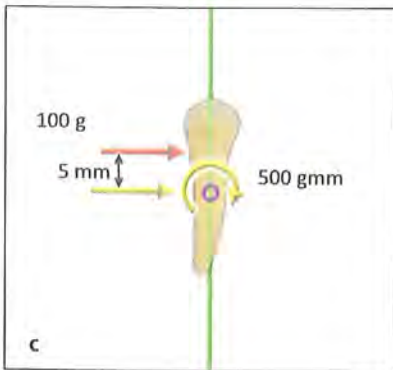
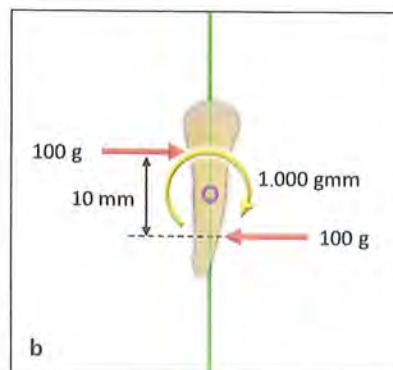
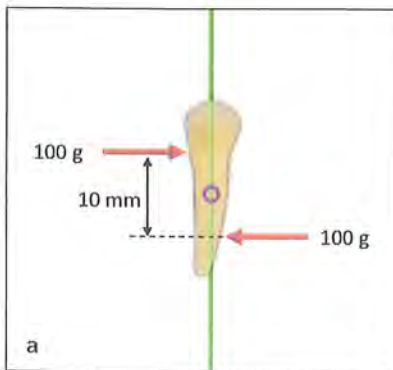


Fig. 9-30 (a-d) Visualização de um binário como vetor livre rotacionando um dente ao redor do CR. Veja o texto para mais explicações.

cada; em vez disso, vamos calcular o efeito de binários idênticos em um dente. Na figura 9-30a, são aplicadas duas forças iguais e opostas de 100 g no canino. O momento é igual a uma força multiplicada pela distância perpendicular à força oposta (Fig. 9-30b).

$$100 \text{ g} \times 10 \text{ mm} = +1.000 \text{ gmm}$$

Agora vamos calcular o momento em relação ao CR.

$$100 \text{ g} \times 5 \text{ mm} = +500 \text{ gmm (Fig 9-30c)}$$

$$100 \text{ g} \times 5 \text{ mm} = +500 \text{ gmm (Fig 9-30d)}$$

Ao adicionar os dois momentos teremos +1.000 gmm, o mesmo resultado quando multiplicamos a força pela distância perpendicular à outra força.

Ao mover o binário mais para a oclusal (Fig. 9-31a), o momento no CR (Figs. 9-31b e 9-31c) da força superior (seta vermelha da esquerda) será:

$$100 \text{ g} \times 22 \text{ mm} = +2.200 \text{ gmm [sentido horário]}$$

O momento da força inferior (seta vermelha da direita) no CR (Figs. 9-31d e 9-31e) será:

$$100 \text{ g} \times 12 \text{ mm} = -1.200 \text{ gmm [sentido anti-horário]}$$

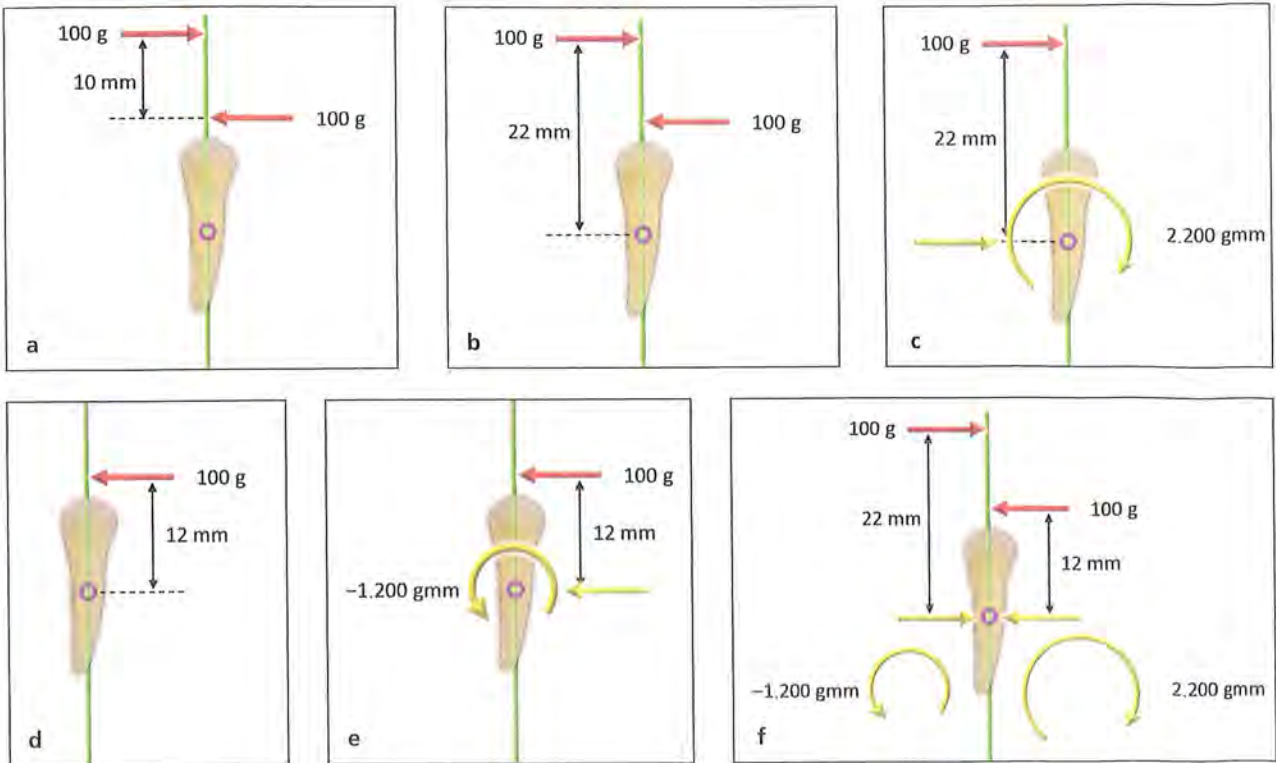


Fig. 9-31 (a-f) O binário é deslocado em direção oclusal; entretanto, o CR sentirá o mesmo momento do binário posicionado mais para apical. Veja o texto para mais explicações.

Ao somar os momentos das duas forças (oclusal e apical) obtém-se o mesmo resultado: $+1.000 \text{ gmm}$ (Fig. 9-31f). O momento no CR será igual tanto para o binário posicionado para oclusal quanto para o binário posicionado mais para apical, pois são vetores livres.

Um momento simples ou binário não libera forças no dente. A soma de todas as forças é igual a zero. Pode parecer confuso para o ortodontista o fato de o dente se mover sem uma força resultante. Um caso específico de um binário que produz rotação ao redor do CR apenas pela ação de um momento.

Movimento Dentário Derivado

Quando a linha de ação da força passa distante do CR, o deslocamento é denominado "movimento dentário derivado". Na figura 9-32, observamos diversas forças linguais posicionadas para oclusal e apical em relação ao CR, produzindo cada uma delas um eixo de rotação diferente. As forças oclusais em relação ao CR produzem diferentes graus de inclinação lingual (rotação no sentido horário), e as forças apicais, em relação ao CR, produzem movimento lingual de raiz (rotação no sentido anti-horário). Selecionaremos uma das forças ao nível da crista alveolar (Fig. 9-33) que tende a inclinar o incisivo para lingual (rotação no sentido horário) ao redor de

um eixo no ápice. Em razão de a força não ser em 90 graus em relação ao longo eixo do dente gera-se uma pequena componente intrusiva, que será desprezada. A força lingual pode ser substituída por uma força equivalente para lingual e um binário no CR (*setas verde e lilás* na Fig. 9-33b). A força causará translação e o binário, rotação do dente ao redor do CR. Nesse caso em particular, a estimativa de cada deslocamento preliminar tem o CRot localizado no ápice radicular. Na figura 9-33b, o movimento dentário de translação é ilustrado com o dente em uma transparência na cor verde, e a rotação ao redor do CR em transparência em lilás.

O ponto de partida para determinar qual será o sistema de força necessário em um aparelho ortodôntico é identificar a força única que produzirá o CRot desejado. Qualquer CRot pode ser obtido com uma força única aplicada no dente ou distante dele; o desafio é determinar a linha de ação da força. Naturalmente, a exceção é a rotação ao redor do CR, que requer apenas um binário. Para auxiliar a indicação da posição da força, um diagrama com "hastes" mostra-se bastante útil. Utilizaremos um exemplo de inclinação lingual de coroa com o CRot localizado no ápice radicular (*pontos azuis* na Fig. 9-34). O dente está representado por uma haste na cor azul com um círculo lilás representando o CR (veja a Fig. 9-34). Uma força (*seta vermelha*) é aplicada na região da crista alveo-

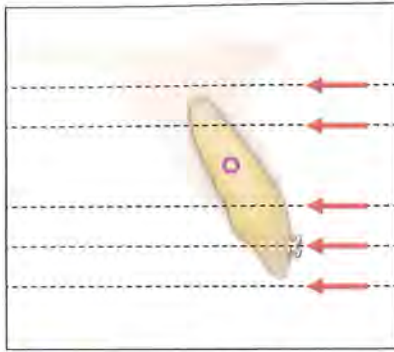


Fig. 9-32 Diferentes forças linguais posicionadas para oclusal e apical em relação ao CR, produzindo cada uma delas um eixo de rotação diferente.

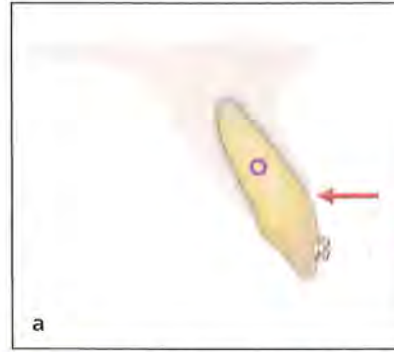


Fig. 9-33 (a) Uma força aplicada no nível da crista alveolar inclinará o incisivo para lingual ao redor de um eixo localizado no ápice (rotação no sentido horário). (b) A força para lingual pode ser substituída por uma força equivalente e um momento no CR (setas verde e lilás). O dente sofrerá translação (dente na cor verde) pela ação da força e rotação ao redor do CR pela ação do binário (dente na cor lilás). O resultado final dos principais tipos de deslocamento produz um CRot localizado no ápice.

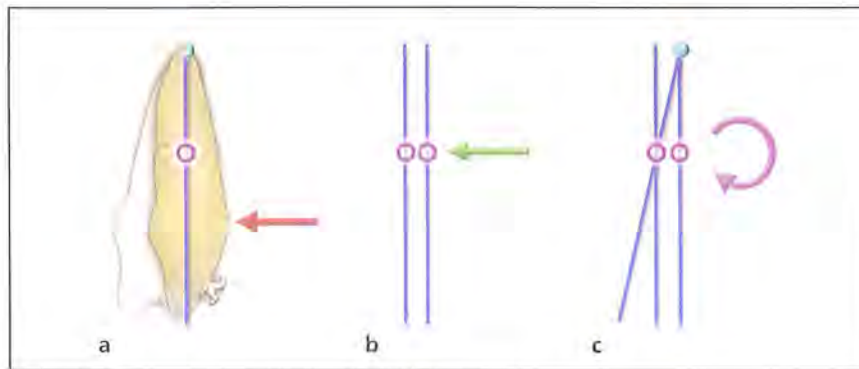
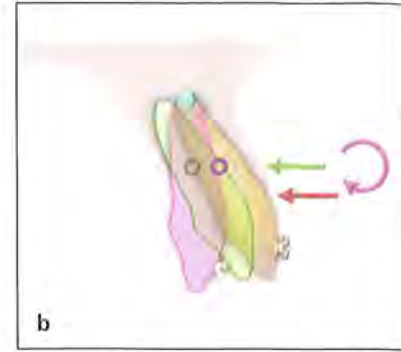


Fig. 9-34 Diagrama de hastes para uma inclinação controlada. (a) Uma força é aplicada na região próxima à crista alveolar que tipicamente inclina o incisivo ao redor do ápice (seta vermelha). O sistema de força equivalente no CR é formado por uma força (seta verde) e um binário (seta curvada lilás). (b) A haste (dente) sofre translação para lingual pela componente de força na cor verde. (c) O momento no sentido horário (seta curvada lilás) rotaciona a haste ao redor do CR de forma que o CRot localiza-se no ápice (ponto azul).

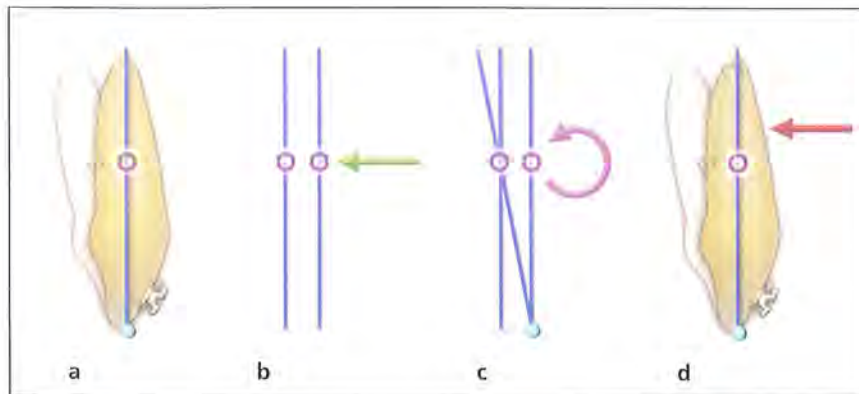


Fig. 9-35 Diagrama de hastes para movimentação de raiz. (a) Suponhamos que não sabemos onde posicionar a força para rotacionar um incisivo ao redor de sua borda incisal. (b) De imediato vimos que o CR move-se ao longo da linha de ação da força aplicada. Portanto, o sentido da força deve ser para lingual (seta verde). (c) A haste sofrerá rotação com o CRot localizado na borda incisal. Um binário no sentido anti-horário é indicado (seta curvada lilás). (d) Somente uma força apical ao CR (seta vermelha) poderá levar a esse resultado; assim, o local da força deve ser apical ao CR.

lar que tipicamente inclina o incisivo ao redor do seu ápice. A força equivalente é transferida para o CR e substituída por uma força (seta verde) e um binário (seta curvada lilás). Na figura 9-34b, a haste (dente) é transladada para lingual pela componente da força (verde). Finalmente, após a translação (Fig. 9-34c), o momento no sentido horário (lilás) rotaciona a haste (dente) ao redor do CR com o CRot localizado no ápice radicular (ponto azul). Neste exemplo, conhecíamos a posição correta da força (seta vermelha) para produzir rotação ao redor do ápice, baseado em pesquisas⁵, de modo que nossa análise é útil apenas para explicar

porque o CRot está localizado no ápice. Mas suponhamos que não conhecíamos a localização da força para inclinar um incisivo ao redor do ápice. Novamente, utilizaremos o diagrama das "hastes". Ao desenhar o posicionamento dentário antes e depois, observamos de imediato que o CR move-se ao longo da linha de ação da força aplicada. Isso mostra que a direção da força deve ser para lingual (veja a Fig. 9-34b). Resta determinar a localização da força. A haste sofrerá rotação com o CRot localizado no ápice radicular, o que pode ser obtido com um momento no sentido horário (Fig. 9-34c). Em qual lado do CR a força poderia ser

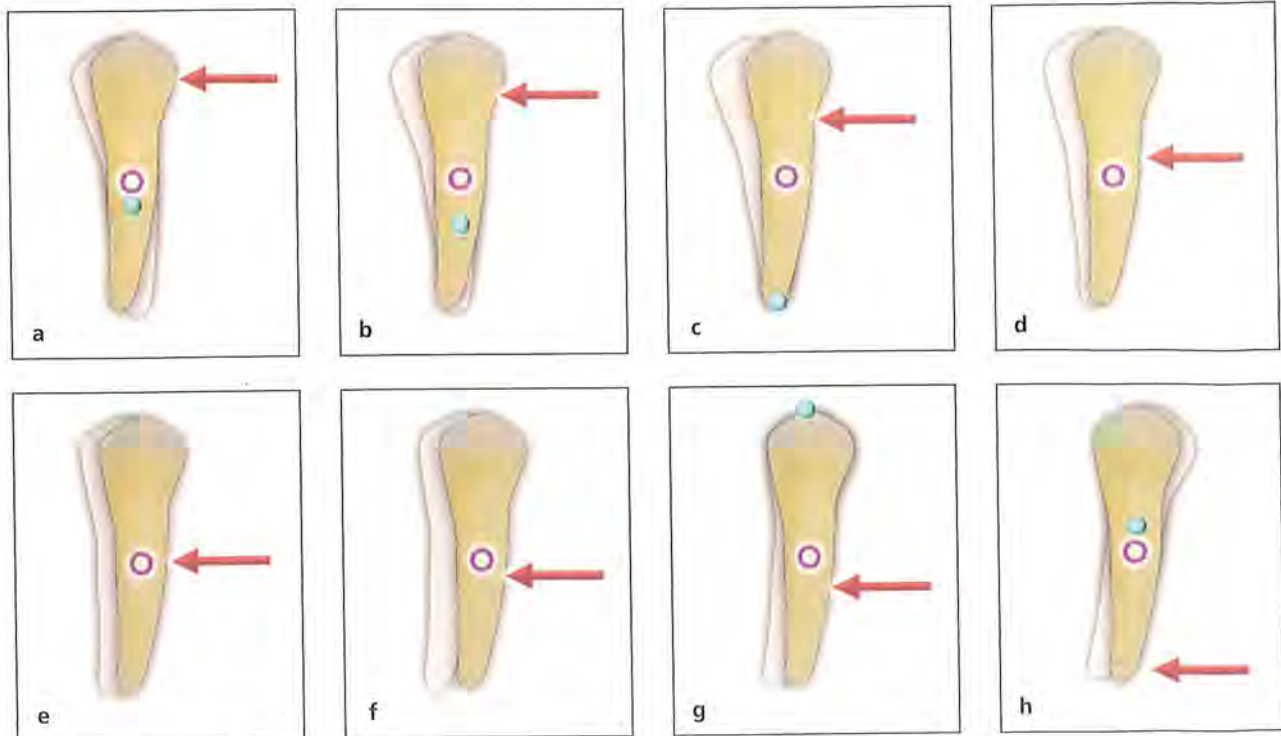


Fig. 9-36 Efeito da variação na posição da força em geometria simples de força horizontal a 90 graus com o longo eixo do dente. A posição da força será alterada sequencialmente partindo da coroa em direção apical. (a) A força age no bráquete, e o CRot (*ponto azul*) a 1 milímetro para apical em relação ao CR (*círculo lilás*). (b) A força é deslocada para apical. O dente inclina-se, com a raiz ainda se movimentando em sentido oposto ao movimento da coroa, mas com menos intensidade que na situação anterior. (c) A força é posicionada na crista alveolar. O CRot localiza-se no ápice. Nenhuma parte do dente movimenta-se no sentido oposto à força aplicada. (d) A força é aplicada ligeiramente para oclusal em relação ao CR. A coroa e o ápice radicular movimentam-se na mesma direção. O CRot move-se para longe do dente. (e) A força com a linha de ação passando pelo CR produz translação, e o CRot localiza-se no infinito. (f) A força é deslocada ligeiramente para apical em relação ao CR. O CRot retorna ao dente e situa-se agora próximo à coroa. (g) A força é deslocada um pouco mais para apical. Ocorrerá um movimento radicular com o CRot localizado na borda incisal. (h) Ao deslocar a força ainda mais para apical, o CRot aproxima-se do CR, mas em direção oclusal, e o movimento dentário aproxima-se de um momento.

aplicada para produzir um momento no sentido horário? Somente uma força oclusal em relação ao CR pode levar a esse resultado; assim, a posição da força deve ser oclusal em relação ao CR, e sua exata localização deve ser determinada por cálculos adicionais.

Consideremos outro exemplo (Fig. 9-35), um incisivo que requer movimento radicular (CRot ao redor da borda incisal, *ponto azul*). Diferente da figura 9-34, tudo o que se sabe ao início da nossa resolução é a direção da força. Na figura 9-35a, o CR move-se para lingual; portanto, é necessária uma força (*seta verde*) no CR para lingual (Fig. 9-35b). Qual será o sentido do momento para rotacionar a haste (dente) com o CRot localizado na borda incisal? O sentido correto será anti-horário (Fig. 9-35c). Então, qual a posição correta da força única? Esta estará posicionada em algum lugar apical em relação ao CR (*seta vermelha* na Fig. 9-35d). Pesquisas mostram que está aproximadamente 2 a 4 mm apical em relação ao CR. Mas qual será o sistema de força no bráquete, em que o aparelho libera a força que produz o movimento radicular no incisivo? Esta é a parte mais simples: sistema de força equivalente a uma

força única na raiz. Mais detalhes serão fornecidos mais à frente neste capítulo.

A figura 9-36 descreve o efeito ao alterar a posição da força em uma geometria simples de forças horizontais a 90 graus com o longo eixo do dente. Os gráficos são de natureza geral, de maneira que não refletem posições exatas. Dentro de uma escala razoável, a magnitude da força parece não influenciar no CRot. A ideia de que forças pesadas inclinam os dentes mais do que forças leves é seguramente incorreta.

Na figura 9-36a, a força age no bráquete, e o CRot (*ponto azul*) está aproximadamente a 1 milímetro para apical em relação ao CR (*círculo lilás*). A força está longe o suficiente do CR para que o efeito do momento supere o efeito da força, de forma que o movimento do dente é similar ao produzido por um binário. Iremos, na sequência, mover a força mais para apical (Fig. 9-36b). O dente inclina-se, ainda com a raiz movimentando-se em sentido oposto à coroa, mas menos que no exemplo anterior. Se a força for deslocada mais para apical, na crista alveolar (Fig. 9-36c), o CRot estará localizado no ápice radicular. O CRot move-se para lon-

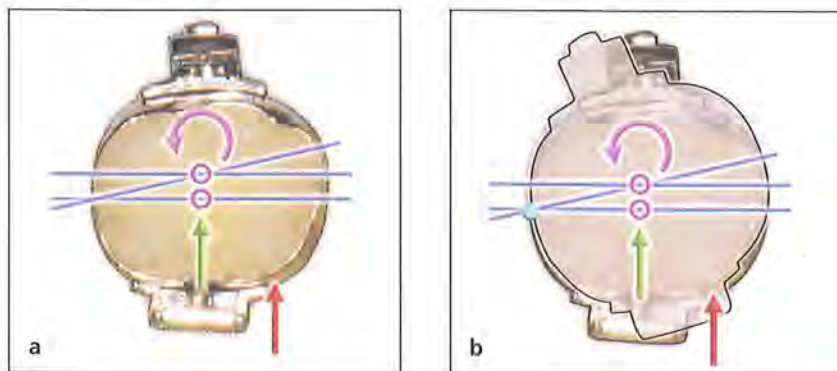


Fig. 9-37 O diagrama de hastes também pode ser utilizado em uma vista oclusal. Um molar deve ser movimentado ao redor do CRot localizado próximo à área de contato mesial. (a) Uma força (*seta vermelha*) posicionada mais para distal causará translação da haste para vestibular e rotação ao redor do CR no sentido anti-horário. (b) O CRot poderia estar localizado exatamente na região de contato mesial, dependendo da distância que a força for posicionada para distal.

ge do dente na figura 9-36d, onde a força encontra-se ligeiramente para oclusal em relação ao CR; coroa e ápice radicular movem-se na mesma direção. A força agindo no CR produz translação, com o CRot localizado no infinito (Fig. 9-36e).

Ao mover a força ligeiramente mais para apical em relação ao CR (Fig. 9-36f), ocorrerá o deslocamento do CRot em direção oclusal (borda incisal da coroa). O CRot retorna do infinito pelo lado oclusal conforme a força se move em direção apical. Na figura 9-36g, ocorre um movimento radicular com o CRot localizado na borda incisal. Ao mover a força ainda mais para apical o CRot se aproxima do CR, mas pelo lado oclusal, e o movimento dentário será similar a um movimento produzido por um binário (Fig. 9-36h).

Observe nas figuras 9-36a e 9-36h que, quando a força se distancia do CR, parte do dente movimenta-se em direção oposta à força aplicada. Em outras palavras, o movimento dentário torna-se similar a uma rotação pura produzida por um binário.

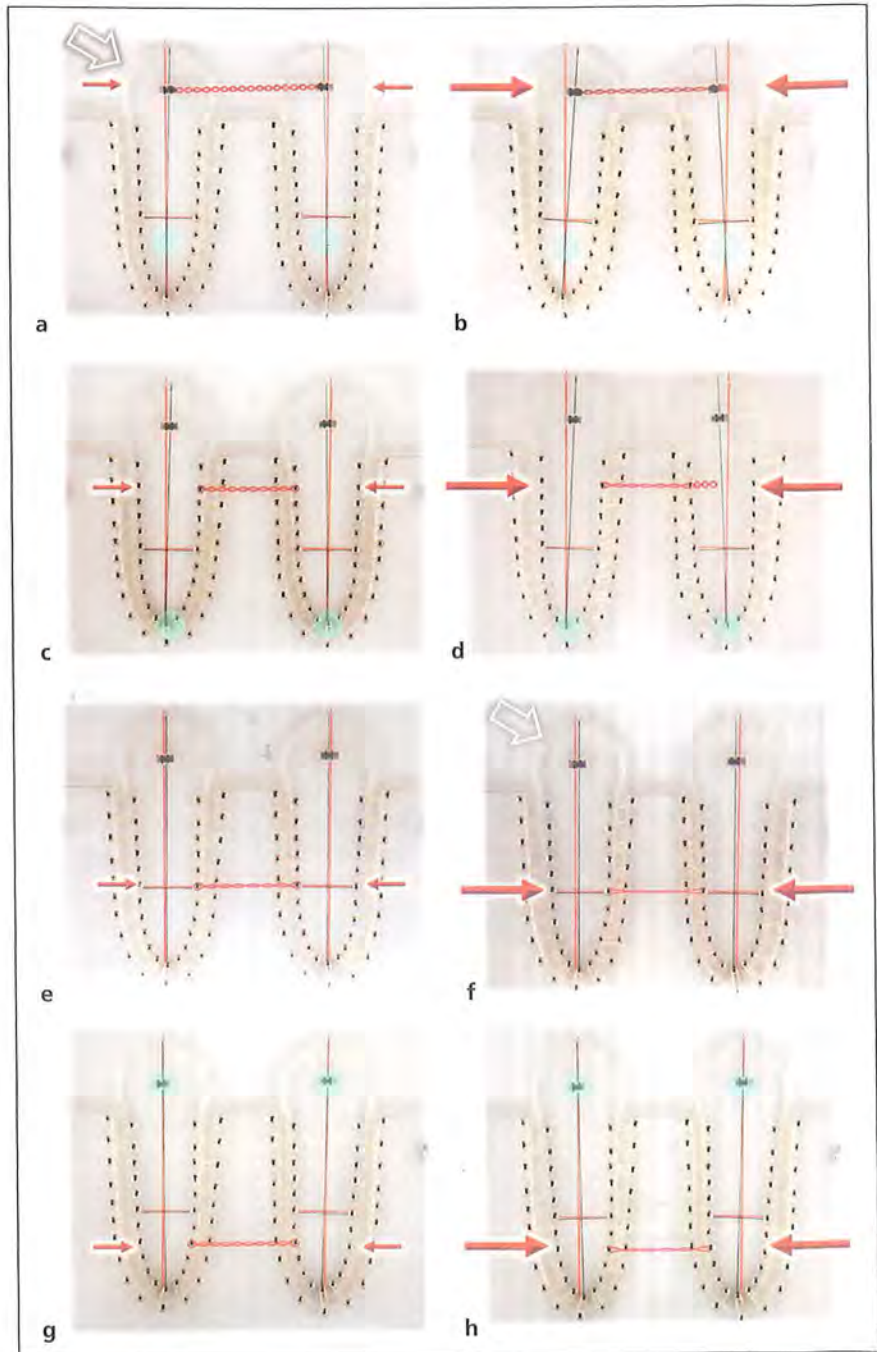
O mesmo diagrama de hastes das figuras 9-34 e 9-35 pode ser utilizado em uma vista oclusal. Um molar está para ser movimentado ao redor do CRot localizado perto do ponto de contato mesial (Fig. 9-37). Uma força (*seta vermelha*) deslocada para distal (Fig. 9-37a) irá transladar a haste (dente) para vestibular e rotacioná-la ao redor do CR no sentido anti-horário. O CRot (*ponto azul* na Fig. 9-37b) está localizado na região do ponto de contato mesial, mas o seu posicionamento depende de quão distal for aplicada a força. Quanto mais para distal a força, mais próximo o CRot estará do CR.

Na figura 9-38 estão representados oito modelos em 2D mostrando o efeito da força em relação à posição e à magnitude. Os dentes estão suspensos por uma série de elásticos simulando o ligamento periodontal. A linha azul traçada sobre o dente transparente coincide com a linha vermelha ao fundo quando o dente está em repouso. Com o deslocamento do dente pela ação da força (*seta vermelha*), a quantidade de deslocamento e rotação é visualizada pelo espaço e pelo ângulo entre as duas linhas. A posição da intersecção da linha azul com a linha vermelha representa o CRot (*círculo*

azul) tal como nas figuras 9-34 e 9-35. O primeiro aspecto a ser observado é que o CR move-se paralelamente à força aplicada, independentemente do ponto de aplicação. Em alguns casos, como nas figuras 9-38a e 9-38b, alguma parte do dente pode mover-se no sentido oposto à força, o que nunca acontece com o CR. Com o deslocamento da posição da força do bráquete em direção ao ápice (Figs. 9-38a a 9-38d), a intersecção (*círculo azul*) move-se como explicado pelas curvas na figura 9-43, as quais são discutidas mais adiante neste capítulo. Observe nas figuras 9-38a e 9-38b como a magnitude da força não afeta o local da intersecção (CRot, *círculo azul*), e que somente a quantidade de rotação é aumentada com a elevação da magnitude da força. Observe também a quantidade de deslocamento dentário (*seta branca*) nas figuras 9-38a e 9-38f. Esses dois sistemas de força resultam em uma quantidade similar de deslocamento dentário na região da coroa, ainda que a quantidade de força utilizada seja totalmente diferente. Baseado no alongamento do elástico em cadeia, podemos dizer que na figura 9-38a foi utilizada força muito leve e na figura 9-38f, força pesada. Entretanto, o valor máximo da quantidade de estresse sentido no ligamento periodontal é semelhante. Em outras palavras, mesmo uma força leve pode induzir um estresse muito alto em inclinação descontrolada (veja Fig. 9-38b). Apesar de a magnitude da força ser muito baixa, forças leves e alternadas na coroa no sentido vestibulolingual, pela ação dos músculos da língua e da bochecha, induzem à mobilidade fisiológica de inclinação descontrolada. Como resultado, a espessura do ligamento periodontal é mais estreita próximo ao centro da raiz com ampliação gradual em direção apical e coronária a partir do centro. Empiricamente, os dentistas aprenderam que a forma mais eficaz de extrair um dente (a maneira que utiliza menos força) é provocar inclinações descontroladas repetidamente, o que induz a um alto nível de estresse no ligamento periodontal e no osso. Observe também que a posição do CRot muda subitamente para próximo do CR.

Resumindo, em movimento dentário derivado (1), o CR move-se paralelo à força aplicada; (2) uma única

Fig. 9-38 Oito modelos físicos em 2D ilustram o efeito da posição da força e sua magnitude. Os dentes estão suspensos por uma série de elásticos, simulando o ligamento periodontal. A linha azul desenhada sobre a estrutura transparente representando o elemento dentário coincide com a linha vermelha ao fundo quando o dente está em repouso. Com o deslocamento do dente pela ação de uma força (*setas vermelhas*), a quantidade de deslocamento e rotação é visualizada pela distância e pelo ângulo formado pelas duas linhas. O local de intersecção das linhas vermelha e azul (*círculo azul-claro*) corresponde ao CRot, semelhante ao diagrama de hastes. (*a,b*) Inclinação descontrolada. (*c,d*) Inclinação controlada. (*e,f*) Translação. (*g,h*) Movimentação de raiz. Ao comparar *a* e *b*, *c* e *d*, *e* e *f*, *g* e *h*, a posição é a mesma, mas a magnitude é maior à direita (*b*, *d*, *f* e *h*). A localização do CRot não sofre influência da magnitude da força. Observe que a quantidade de deslocamento do bráquete em *a* e *f* (*setas brancas*) é similar, embora a magnitude da força aplicada seja diferente.



força com a correta linha de ação pode produzir qualquer centro ou eixo de rotação necessário; (3) o CRot independe da magnitude da força; (4) o CRot migra subitamente quando a força aproxima-se do CR. Mesmo a exceção, rotação ao redor do CR, pode ser obtida por uma força aplicada não muito distante do CR. A figura 9-39 faz lembrar que há uma infinidade de posições de forças em 3D que não possuem, necessariamente, uma linha de ação que cruza o elemento dentário.

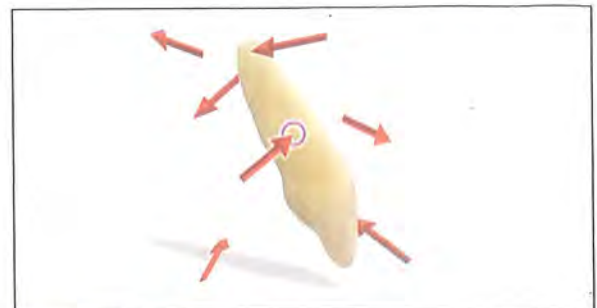


Fig. 9-39 Há uma infinidade de posições da força e eixos de rotação em 3D correspondentes.