

Princípios de biomecânica aplicados à odontologia

Marina Guimarães Roscoe, Rafael Yague Ballester e Josete Barbosa Cruz Meira

1 Introdução:

Entende-se por biomecânica a ciência que estuda: as forças que atuam sobre estruturas biológicas, órteses e próteses; os efeitos produzidos por essas forças, com finalidades variadas (reabilitação, esporte, robótica, etc.) e o mecanismo de ação dos movimentos nos seres vivos. No campo da Odontologia, o aparelho responsável por realizar os movimentos funcionais como fala, deglutição e mastigação dos alimentos é o aparelho estomatognático. Este é constituído por quatro unidades fisiológicas básicas: sistema neuromuscular, articulações temporomandibulares (ATMs), dentes e periodonto. Estas unidades são interdependentes e a manutenção do equilíbrio do conjunto é fundamental para preservar a qualidade funcional do aparelho.

Dentre os constituintes do aparelho estomatognático, o sistema neuromuscular constitui o elemento ativo, visto que os músculos, ativados pelo sistema nervoso, geram as forças necessárias à realização dos movimentos funcionais. As demais estruturas (ATM, dentes, osso e periodonto) representam elementos passivos, encarregados de receber e transmitir as forças.

2 Mandíbula: uma alavanca biológica

O principal sistema de transmissão e modificação de forças nas estruturas biológicas é a alavanca. Este sistema consiste em uma barra rígida que é livre para girar ao redor de um ponto fixo chamado fulcro (F), sob a ação de duas ou mais forças denominadas como potência (P) e resistência (R). Conforme a posição do fulcro, potência e resistência, o sistema de alavanca pode ser dividido em três tipos (Figura 1):

- Classe I ou interfixa: fulcro entre a potência e a resistência. Exemplos: balança romana, tesoura, gangorra.
- Classe II ou inter-resistente: fulcro em um extremo, potência no outro e resistência entre ambos. Exemplo: carrinho de mão utilizado por pedreiros.
- Classe III ou interpotente: fulcro em um extremo, resistência em outro e potência entre ambos. Ex: braço humano; usando o cotovelo como fulcro, a

resistência é a carga sustentada pela mão, e a potência, o esforço realizado pela contração do músculo bíceps.

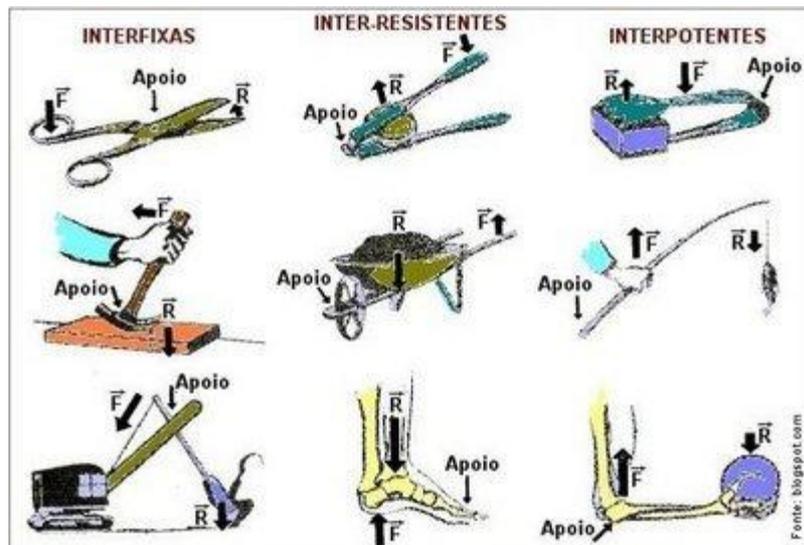


Figura 1 – Componentes da alavanca (fulcro, potência e resistência) e tipos de alavanca (interfixa, inter-resistente e interpotente)

Todos os tipos de alavancas seguem a lei expressa pela equação abaixo:

$$P \times BP = R \times BR$$

Onde BP é o braço de potência, que corresponde à distância entre o ponto de aplicação da força potente e o fulcro e BR é o braço de resistência, que corresponde à distância entre a força resistente e o fulcro (Figura 2). É possível deduzir desta equação que a vantagem mecânica de uma alavanca (R/P) será maior quanto maior for a razão BP/BR.

$$\text{Vantagem mecânica} = BP/BR$$



Figura 2 – Sistema de alavanca: braço de potência e braço de resistência.

A mandíbula normalmente funciona como uma alavanca inter-potente ou de classe III, sendo que, o fulcro localiza-se no côndilo, a potência é dada pela força imposta pelos músculos masseteres e pterigóideos mediais, e a resistência é dada pela força de contato entre os dentes antagonistas ou pela força de mordida contra um alimento interposto entre os dentes (Figura 3). Em concordância com a lei das alavancas, quanto mais para posterior, maior a vantagem mecânica da mandíbula, pois o braço de resistência fica cada vez mais curto, enquanto o braço de potência permanece o mesmo. Assim, a força de mordida é maior em dentes posteriores. Este é um dos motivos pelos quais é mais fácil quebrar alimentos mais duro na região de molar.

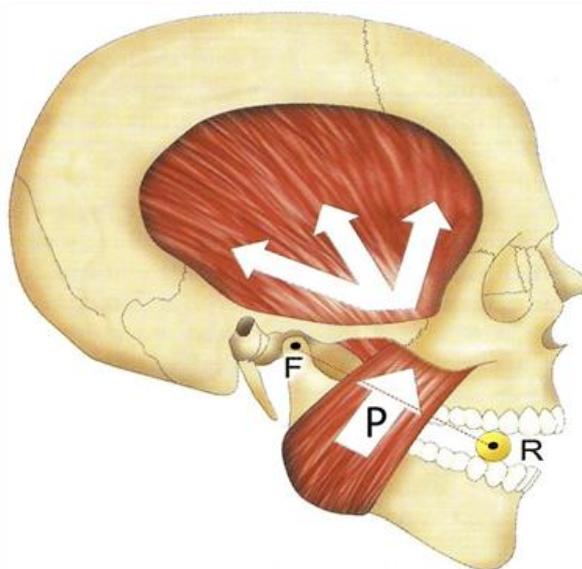


Figura 3. Sistema de alavanca inter-potente (classe III) existente na mandíbula. Imagem retirada de página da internet - <http://biologosueg2014.blogspot.dk/2011/09/as-alavancas-do-corpo-humano.html>

Ainda como consequência desta diferença de força de mordida ao longo da arcada dentária, a solicitação mecânica de um material restaurador em um dente posterior é geralmente maior do que em um dente anterior. Assim, muitas vezes um material apresenta bom desempenho em dentes anteriores e desempenho ruim em dentes posteriores. Este aspecto é especialmente crítico em restaurações indiretas.

3 Forças que atuam na cavidade oral

Para fins didáticos, classificaremos as forças que atuam na cavidade bucal em forças oclusais e não oclusais. Enquanto o equilíbrio destas forças mantém a estabilidade do posicionamento e a integridade dos dentes, o desequilíbrio pode gerar problemas não apenas nos dentes, mas em todo o sistema estomatognático.

3.1 Forças oclusais:

As forças oclusais aparecem exclusivamente nos contatos entre os dentes antagonistas e surgem devido à ação dos músculos elevadores da mandíbula. As variações anatômicas entre os grupos de dentes, os complexos movimentos mandibulares e os pontos de contato em posições diferentes em um mesmo dente podem gerar vetores de força altamente complexos durante o “simples” ato de mastigar.

Distribuída x concentrada

Em uma oclusão equilibrada todos os dentes entram em contato quando estão em máxima intercuspidação, ou seja, a força de mordida está distribuída ao longo de todo o arco dental, nos pontos de contato oclusal. Em casos em que há ausência de vários dentes, prematuridade ou interferência oclusal, a força fica concentrada em poucos pontos. Nestes casos, o risco de danos aos dentes ou aos tecidos de suporte é maior.

O ligamento periodontal favorece um maior número de contatos oclusais, pois funciona como um coxim, o que é capaz de amortecer uma eventual sobrecarga nos primeiros dentes a entrar em contato. Além disso, no ligamento periodontal existem receptores nervosos que promovem um relaxamento dos músculos elevadores da mandíbula em casos de sobrecarga acidental (ex. pedra no feijão). Assim, em casos de dentes anquilosados ou de implantes dentários (nos quais o ligamento periodontal está ausente), o risco de sobrecarga oclusal é maior.

Axial x não axial

O carregamento é considerado axial quando a resultante das forças que atuam sobre o dente é paralela ao longo eixo do mesmo e alinhada com o seu centro de resistência (Figura 4). Este tipo de carregamento tende a intruir o dente no alvéolo. Em dentes posteriores a carga oclusal fisiológica é predominantemente axial.

Quando o carregamento foge do caso acima, ou seja, a resultante não é paralela ao longo eixo dos dentes ou não está alinhada com o seu centro de resistência, é considerado não axial. Neste caso haverá um momento (torque), que tende a girar o dente. Em dentes anteriores, a carga oclusal é predominantemente não axial.



Figura 4 – Esquema de um carregamento axial e outro não axial.

Na Odontologia é comum encontrar o termo “carga oblíqua” para contrapor com a “carga axial”. Aqui o termo não axial foi utilizado porque uma carga longitudinal também pode gerar um momento, se não estiver alinhada com o centro de resistência do dente.

3.2 Forças não oclusais:

Chamaremos de forças não oclusais, todas as forças aplicadas nos dentes e que não se encaixam no conceito de forças oclusais. Exemplos de forças não-occlusais:

- forças que surgem pela ação direta de músculos sobre os dentes (como músculos dos lábios, língua e bochechas) durante os movimentos funcionais do sistema estomatognático (fala, deglutição e mastigação).
- forças que surgem pelo contato entre dentes adjacentes (contato proximal).
- forças provocadas por objetos colocados na boca (como instrumentos de sopro, chupeta, mamadeira etc...)

Os músculos envolvidos nas atividades de mastigação, deglutição e respiração promovem forças capazes de alterar ou manter o posicionamento dos dentes, atuando diretamente sobre eles ou sobre o seu suporte ósseo. A frequência e duração total da contração muscular é importante, sendo que as contrações repetitivas e duradouras geram efeitos mais importantes sobre dentes e ossos do que as contrações transitórias e pouco frequentes. O tônus dos lábios, por exemplo, é importante para a manutenção do posicionamento dos dentes anteriores. Assim, pacientes com hipotonia dos lábios podem apresentar vestibularização dos incisivos superiores. De modo semelhante, a interposição da língua entre os dentes anteriores também pode ser considerado fator importante para o desequilíbrio da oclusão.

Apesar da variedade de forças que atuam sobre os dentes, com direções, magnitudes e durações diferentes, de modo geral os dentes permanecem relativamente estáveis, já que estas forças normalmente se encontram razoavelmente equilibradas.

4 Excessos e desequilíbrios das forças: causas e consequências

A tabela abaixo apresenta, de forma resumida, alguns fatores causais do desequilíbrio de forças na cavidade oral e suas consequências.

Tabela 1 – Exemplos de causas e consequências de excessos e desequilíbrios das forças que atuam na cavidade oral.

Causas	Consequências
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hábitos parafuncionais: por aumento da frequência, duração e/ou intensidade das forças aplicadas. <ul style="list-style-type: none"> ○ bruxismo (hábito de ranger os dentes) ○ briqueamento (hábito de apertar os dentes). ○ outros hábitos como, por exemplo, interposição da língua, sucção de chupeta ou dedo, instrumento musical, etc 	<ul style="list-style-type: none"> □ desgaste exagerado dos dentes (mais associado ao bruxismo) □ disfunções da ATM □ maior risco de fratura e desgaste de restaurações. □ mau posicionamento dos dentes e deformação do osso maxilar ou mandibular (mais associados a outros hábitos)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hipotonia dos lábios 	<ul style="list-style-type: none"> □ vestibularização dos dentes anteriores.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perda de um elemento dental. Nem sempre a perda de um elemento dental se constitui um problema (ex: dentição mista) 	<ul style="list-style-type: none"> □ mesialização, distalização ou extrusão dos dentes próximos à perda.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contato prematuro e interferências oclusais: geram sobrecarga no dente afetado. 	<ul style="list-style-type: none"> □ inflamação pulpar, podendo levar à necrose. □ maior risco de <u>lesões cervicais não cariosas</u>. □ Inflamação no periodonto → mobilidade dental

5 Princípios biomecânicos nas especialidades odontológicas.

A biomecânica é um tema importante em diversas áreas da odontologia. Para fins didáticos, os princípios biomecânicos serão exemplificados por algumas aplicações a apenas duas especialidades odontológicas: ortodontia e dentística. A abordagem dada neste capítulo é compatível com nível de conhecimento do aluno da disciplina de ODM-400 - Materiais para Uso Direto.

5.1 Ortodontia

O tratamento ortodôntico possibilita corrigir o posicionamento de dentes em casos de apinhamento dental ou falta de alinhamento ou nivelamento dos dentes.

5.1.1 Fundamentos da movimentação dentária ortodôntica

A força gerada pelos aparelhos ortodônticos tem sua origem na recuperação da deformação elástica dos fios. Os aparelhos ortodônticos são desenhados para que esta força atue no dente e seja transmitida aos tecidos de suporte, desencadeando uma cascata de eventos fisiológicos que resultam na movimentação do dente.

Existem diferentes teorias para explicar o mecanismo pelo qual o estímulo mecânico é traduzido em uma resposta biológica. De modo geral, todas elas concordam em que a reação biológica depende do tipo e da intensidade da tensão provocada (compressão ou tração), e em que o ligamento periodontal desempenha um papel importante no processo. De modo resumido, nos locais do dente onde predominam tensões de compressão há sinalização celular para que ocorra reabsorção óssea, e nas áreas de predomínio de tensões de tração há sinalização para aposição óssea. Esta concomitância entre diferentes regiões de reabsorção e aposição óssea é responsável por promover a movimentação ortodôntica.

5.1.2 Reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente (RRIIO)

O desafio do ortodontista é produzir um sistema de forças eficiente, que realize a movimentação desejada da forma o mais rápida possível, com o mínimo de efeitos colaterais. Um dos principais efeitos colaterais do tratamento ortodôntico é a reabsorção radicular (RRIIO), que está diretamente relacionada ao uso de forças muito intensas durante o tratamento. Quando o ligamento periodontal é submetido a excesso de compressão, ocorre um bloqueio da circulação sanguínea que, por sua vez, provoca necrose localizada do cemento. Esta necrose desencadeia uma cascata de reações biológicas semelhantes àquelas que ocorrem na reabsorção óssea, só que, neste caso, as células clásticas reabsorvem a superfície radicular ao invés do osso.

5.2 Dentística restauradora

5.2.1 Lesões cervicais não cariosas (LCNC):

Considera-se lesão não cariosa a região do dente exposta ao meio externo em que se perdeu estrutura dental (esmalte e/ou dentina) sem a necessidade da intervenção de microorganismos. Estas lesões têm normalmente etiologia multifatorial, mas, em alguns casos, pode existir a predominância de um dos seguintes fenômenos: erosão (relacionada à presença de ácidos, endógenos ou exógenos), abrasão (relacionada à

escovação com dentífrico abrasivo e força excessiva, ou mastigação de alimentos abrasivos), atrição (hábito de ranger os dentes) e concentração de tensões.

Quando esta perda ocorre na região cervical, é denominada lesão cervical não cariada (LCNC). As LCNC em forma de cunha, com bordas bem definidas, estão frequentemente associadas à concentração de tensão gerada por uma sobrecarga oclusal.

O mecanismo pelo qual esta sobrecarga oclusal promove a formação de lesões ainda é um ponto controverso. Por muito tempo, a teoria da abfração (entendida como microfraturas provocadas pela concentração de tensões em lugares distantes do ponto de aplicação da carga) foi bastante aceita, mas, atualmente, algumas incoerências têm colocado em xeque a validade desta teoria. No entanto, parece claro que, quando a sobrecarga é provocada por prematuridades ou interferências oclusais, corrigir estes problemas torna-se um fator decisivo para diminuir o progresso da lesão e obter sucesso no tratamento. Conscientizar o paciente da necessidade de consultas de controle periódicas (semestrais ou anuais) também é importante para garantir a manutenção do equilíbrio oclusal.

5.2.2 Seleção dos materiais restauradores

A indicação do material envolve considerações biológicas, mecânicas, estéticas e financeiras específicas para cada situação clínica. O dentista deseja que o material restaurador consiga restabelecer a forma, função e estética das estruturas dentais perdidas pelo maior tempo possível. Apesar do grande desenvolvimento ocorrido nos últimos anos na área de materiais restauradores odontológicos, nenhum material consegue substituir esmalte e dentina de forma eficiente e duradoura em todos os casos.

Do ponto de vista mecânico, a os critérios para escolha do material dependerá de uma combinação de fatores como: (a) formato, extensão e localização da restauração; (b) quantidade e qualidade da estrutura dentária remanescente; (c) magnitude e modo de aplicação da carga.

Em casos de cargas baixas ou períodos de tempo reduzidos que não exponham o material à fadiga (baixa solicitação mecânica), as propriedades mecânicas do material não precisam ser tão altas e um material menos resistente pode ser utilizado, especialmente se apresentar alguma vantagem biológica ou financeira. É o que acontece, por exemplo, com algumas restaurações provisórias, em que podem ser utilizados cimentos de ionômero de vidro e cimentos de óxido de zinco e eugenol.

Aproveita-se assim a vantagem da ação anticariogênica do cimento de ionômero de vidro ou da ação anódina do cimento de óxido de zinco, associadas à facilidade de manipulação e de remoção destes cimentos sem maiores inconvenientes relacionados com a resistência mecânica.

Outras situações típicas de baixa solicitação mecânica são as cavidades de classe V ou as cavidades em dentes decíduos. Nestes casos, especialmente quando o paciente apresenta um alto risco de cárie, a ação anticariogênica do cimento de ionômero de vidro pode apresentar vantagem em relação aos materiais restauradores diretos “definitivos” (resina composta ou amálgama), sem prejuízo da longevidade motivado pelo desempenho mecânico.

Quando a solicitação mecânica é um fator importante, a resina composta e o amálgama são os materiais de escolha para restaurações diretas, enquanto as cerâmicas e os metais são os materiais mais indicados para restaurações indiretas. O limite entre a indicação de uma restauração direta ou de uma restauração indireta também dependerá quantidade e qualidade da estrutura dentária remanescente, além da magnitude e modo de aplicação da carga, mas isto é um assunto mais complexo e não será abordado neste momento do curso.

REFERÊNCIAS:

- Anusavice K, Philips. Materiais Dentários, 10. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1998.
- Craig RG, Powers JM. Materiais Dentários Restauradores, Santos Editora, 2004.