

# CINESIOLOGIA E BIOMECÂNICA

AUTORA

VALÉRIA REGINA SILVA



# CINESIOLOGIA E BIOMECÂNICA

AUTORA  
**VALERIA REGINA SILVA**

1ª EDIÇÃO  
SESES  
RIO DE JANEIRO 2015



**Estácio**

**Conselho editorial** SERGIO AUGUSTO CABRAL; ROBERTO PAES; GLADIS LINHARES

**Autora do original** VALERIA REGINA SILVA

**Projeto editorial** ROBERTO PAES

**Coordenação de produção** GLADIS LINHARES

**Projeto gráfico** PAULO VITOR BASTOS

**Diagramação** BFS MEDIA

**Revisão linguística** BFS MEDIA

**Revisão de conteúdo** CLAUDIO GONÇALVES PEIXOTO

**Imagem de capa** GEORGE TIMAKOV | DREAMSTIME.COM

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por quaisquer meios (eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e gravação) ou arquivada em qualquer sistema ou banco de dados sem permissão escrita da Editora. Copyright SESES, 2015.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586C SILVA, VALERIA REGINA

Cinesiologia e biomecânica / Valeria Regina Silva

Rio de Janeiro: SESES, 2015.

88 p.: IL.

ISBN: 978-85-5548-135-2

1. Cinesiologia. 2. Movimento do corpo humano, princípios.

I. SESES. II. Estácio.

CDD 612.76

Diretoria de Ensino — Fábrica de Conhecimento

Rua do Bispo, 83, bloco F, Campus João Uchôa

Rio Comprido — Rio de Janeiro — RJ — CEP 20261-063

# Sumário

1. Introdução ao Estudo da Cinesiologia e da Biomecânica	7
1.1 Conceitos de Cinesiologia	8
1.2 Evolução Histórica do Estudo do Movimento	8
1.3 Considerações Anatomofuncionais	9
1.4 Conceitos de Biomecânica	10
1.5 Áreas de Estudos da Cinesiologia/Biomecânica	11
1.5.1 Antropometria	11
1.5.2 Cinemetria	12
1.5.3 Dinamometria	13
1.5.4 Eletromiografia	13
Referências bibliográficas	14
2. Princípios Mecânicos para Análise Cinesiológica e Biomecânica	15
2.1 Base Cinemática para Análise do Movimento Humano	16
2.1.1 Conceito	16
2.1.2 Formas de movimentos: translação (linear), rotação (angular) e movimentos combinados	16
2.1.3 Posições de Referência: Posição Anatômica e Posição Fundamental	17
2.1.4 Planos e Eixos de Movimento	17
2.1.5 Termos que Descrevem Movimentos Gerais	18
2.1.6 Cadeias Cinemáticas de Movimentos	19
2.2 Base Cinética para Análise do Movimento Humano	20
2.2.1 Conceito	20
2.2.2 Natureza dos Fluidos e Resistência Dinâmica	20
2.2.3 Comportamento Ativo e Passivo do Sistema Musculoesquelético	21

2.2.4 Centro de Gravidade e Estabilidade no Movimento	22
2.2.5 Sistema de Alavancas	22
2.2.6 Tipos de Cargas Mecânicas Atuando nos Biomateriais	24
2.2.7 Tipos de Deformações	24
Referências bibliográficas	25

### 3. Sistema Neuromuscular Aplicado ao Movimento 27

3.1 Organização Estrutural do Músculo Estriado Esquelético	28
3.2 Unidade Motora e Recrutamento	29
3.3 Comportamento Mecânico dos Diferentes Tipos de Fibras Musculares	30
3.4 Unidade Musculotendínea	30
3.5 Propriedades Comportamentais do Tecido Muscular	31
3.6 Abordagem Mecânica das Contrações (Ações) Musculares	32
3.7 Comportamento Mecânico dos Músculos Biarticulares e Poliarticulares	33
3.8 Fatores Mecânicos que Afetam na Força Muscular	34
3.8.1 Área de Corte Transversal Fisiológico	34
3.8.2 Ângulo de Inserção Muscular X Aproveitamento da Força	35
3.8.3 Relação Comprimento x Tensão	35
3.8.4 Relação Força x Velocidade	36
3.8.5 Ciclo Excêntrico-Concêntrico	37
Referências bibliográficas	38

### 4. Sistema Ósseo e o Movimento 39

4.1 Composição e Estrutura do Tecido Ósseo	40
4.2 Morfologia Óssea Relacionada ao Movimento	41
4.3 Crescimento e Desenvolvimento Ósseo	42
4.4 Respostas Ósseas ao Estresse	42
Referências bibliográficas	43

5. Sistema Articular Aplicado ao Movimento	45
5.1 Classificação das Articulações Relacionadas ao Estudo do Movimento	46
5.2 Comportamento Mecânico dos Componentes Articulares	47
5.3 Flexibilidade e Estabilidade das Articulações Sinoviais	48
6. Cinesiologia e Biomecânica da Coluna Vertebral, dos Membros Superiores e Inferiores	51
6.1 Coluna Vertebral	52
6.1.1 Artrocinemática e Osteocinemática da Coluna Vertebral	52
6.1.2 Principais Ações Musculares da Coluna Vertebral	55
6.2 Membros Superiores	60
6.3 Membros Inferiores	74
Referências bibliográficas	86



# 1

## **Introdução ao Estudo da Cinesiologia e da Biomecânica**

## 1.1 Conceitos de Cinesiologia

A cinesiologia é o ramo da ciência que estuda o movimento humano e animal. A palavra cinesiologia é originária do grego *Kinesis* que significa movimento e *logos*, que significa estudo.

O estudo e a compreensão da Cinesiologia se mostra importante pelo fato de que ao conhecer os efeitos e as mudanças desencadeadas pelo movimento, podemos estabelecer os limites para as estruturas do corpo, bem como direcionar uma melhor prescrição do exercício em conformidade com a estrutura física individual.

O estudo cinesiológico analisa as forças e componentes do movimento do corpo humano. Embora os humanos estejam munidos de dispositivos que contribuem para a aferição e controle de suas posturas e movimentos, as forças que o afetam, como a gravidade, a tensão muscular, resistência externa e atrito, nunca são vistas e raramente são sentidas.

A cinemática é o ramo da Mecânica que auxilia na análise do movimento de um corpo no espaço, sem se preocupar com a ação das forças internas e externas que o produzem. Nesse sentido, um objeto, sempre estará em movimento quando sua localização no espaço estiver sendo alterada. Vale lembrar, que o movimento depende de quem o está observando (Sacco, Tanaka, 2008).

A Cinética é o complemento da cinemática. Esse ramo da mecânica estuda os efeitos das forças e das massas no movimento, portanto as suas causas (Sacco, Tanaka, 2008).

Nos próximos capítulos, esses conceitos serão novamente abordados de modo aplicado ao estudo do movimento humano e contribuirão para o seu entendimento sobre cinesiologia e biomecânica.

## 1.2 Evolução Histórica do Estudo do Movimento

A análise da história da cinesiologia (estudo do movimento) e da biomecânica (mecânica aplicada ao sistema biológico) revela uma origem comum. Aristóteles (384 - 322 A.C.), um dos primeiros estudiosos da área, foi responsável por descrever a função e ação dos músculos e ossos, o processo de deambulação, bem como as alavancas anatômicas que atuam no movimento humano.

Muito tempo depois, por volta do ano de 1608, veio Borelli, o qual é considerado o pai da biomecânica, por ser o primeiro a estudar matematicamente o movimento. Isto nos revela a diferença básica entre cinesiologia e biomecânica.

Outros estudiosos também contribuíram para a avaliação da evolução do movimento humano. Ettiënne Marey (1830 – 1904), médico e inventor francês, que em parceria com Edward Muybridge (1830 – 1904), realizou estudos sobre o movimento humano. Publicou diversos trabalhos acerca da análise do movimento humano, depois de eles desenvolverem técnicas de filmografia durante a execução de movimentos tanto em humanos quanto em animais.

Cinesiologia se refere então ao estudo científico do movimento humano de forma abrangente, utilizado para descrever qualquer forma de avaliação anatômica, fisiológica, psicológica ou mecânica do movimento humano.

A partir do século XX, com os significativos avanços tecnológicos e metodológicos, principalmente das técnicas de avaliação do movimento, a cinesiologia se consolidou como ciência, sendo uma das principais disciplinas de formação em áreas que trabalham com o movimento humano.

## 1.3 Considerações Anatomofuncionais

A anatomia é a ciência que estuda as características estruturais de nosso corpo. É dividida em Anatomia Sistêmica (estuda o corpo em uma série de sistemas de órgãos, tais como, ósseo, articular, circulatório, etc.); Anatomia Regional (estuda as regiões do corpo como tórax, abdome, coxa, braço) e Anatomia Clínica (que enfatiza aspectos da estrutura e da função do corpo que são importantes no exercício das áreas relacionadas à saúde) (GARDNER, GRAY, O'RAHILLY, 1988).

As descrições anatômicas relacionam a estrutura com a posição anatômica, padronizando e facilitando o seu entendimento. Entretanto, essa mesma posição é adotada para o estudo cinesiológico.

A posição anatômica é a referência para o estudo do movimento. Os planos anatômicos estão em número de três. São eles: frontal (coronal), sagital e transversal (horizontal). Um plano de movimento determina a direção espacial na qual o movimento ocorre, e nele está presente um eixo imaginário sobre o qual um dos segmentos do corpo gira. Os eixos anatômicos associados com o movimento em cada um destes planos são tidos como: ântero-posterior, mediolateral e eixos longitudinais. Assim, o conhecimento sobre esses planos e eixos é importantes para o entendimento das descrições dos movimentos.

Os eixos de movimentos estão associados aos movimentos propriamente ditos: o eixo mediolateral permite os movimentos de flexão e extensão.

A osteocinematologia descreve o movimento dos ossos em relação aos planos anatômicos. Assim, no plano sagital, ocorrem os movimentos de flexo-extensão, dorsiflexão e flexão plantar. No plano frontal, ocorrem os movimentos de abdução e adução, inclinação (flexão) lateral, desvio ulnar e radial, eversão e inversão. No plano horizontal, ocorrem os movimentos de rotação interna (medial) e externa e rotação axial.

A artrologia estuda a classificação, estrutura e função das articulações e é uma importante base para o estudo geral da cinesiologia. Um método de classificação das articulações se baseia no potencial de movimento, como as sinartroses e as diartroses.

Sinartrose é uma junção entre ossos a qual permite pouco ou nenhum movimento. Podem ser denominadas como fibrosas ou cartilaginosas, devido ao tecido conjuntivo periarticular. As articulações fibrosas são estáveis graças à presença de tecido conjuntivo denso com grande quantidade de colágeno; já as cartilaginosas, são estabilizadas por diferentes formas de fibrocartilagem ou cartilagem hialina, frequentemente associadas ao colágeno. Ambas as articulações têm a função de promover uma ligação estável entre os ossos de modo a permitir a transmissão de forças e, de modo geral, permitem um movimento limitado. A anfiartrose é uma articulação cujas superfícies estão interligadas por discos de cartilagens fibrosas ou por membranas sinoviais, são articulações pouco móveis, como as pubianas e as intervertebrais.

A diartrose é uma articulação de movimento livre e amplo, comumente é conhecida como sinovial. Essa articulação é formada por cartilagem hialina sem pericôndrio no encontro de dois ossos com líquido sinovial mantido por uma membrana sinovial.

## 1.4 Conceitos de Biomecânica

A biomecânica é derivada das ciências naturais que utilizam análises físicas dos diferentes sistemas biológicos, incluindo o movimento do corpo humano. O seu objetivo é analisar o movimento em diferentes aspectos. Naturalmente, esses aspectos são amplamente dinâmicos e devem admitir avanços científicos que colaborem para o crescimento da própria biomecânica. Esta deve dispor

de métodos de estudo próprios para que sejam aplicados na investigação do movimento.

Seu atual desenvolvimento é expresso por novos procedimentos e técnicas de investigação, nas quais se reconhece a tendência crescente de combinar várias disciplinas científicas na análise do movimento.

Nos últimos anos, o progresso dos métodos de medição, armazenamento e processamento de dados contribuiu de forma grandiosa para a análise do movimento. Para a sua formação, a biomecânica recorre a um complexo de disciplinas científicas (Ex. Anatomia, Fisiologia e Física - mecânica), observando-se uma estreita relação entre as necessidades e as exigências da prática do movimento humano. Em princípio, a estrutura funcional.

Na maioria das vezes, a análise de movimentos complexos é simplificada, pois se inicia com uma avaliação de forças atuantes dentro e fora do corpo. As leis de movimento do Sir Isaac Newton ajudam a elucidar a relação existente entre as forças e suas ações em articulações individuais, assim como em todo o corpo humano. Newton observou que as forças, a massa e os movimentos se relacionavam de modo previsível. Assim, em 1687, na sua famosa obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* as leis e princípios básicos da mecânica foram fundamentados. Essas leis são conhecidas como leis do movimento; são elas: lei da inércia, lei da aceleração e lei da ação e reação.

Deste modo, a aplicação biomecânica para a saúde do movimento humano pode contribuir para a melhoria do desempenho e na prevenção de lesões.

## 1.5 Áreas de Estudos da Cinesiologia/ Biomecânica

A biomecânica utiliza como métodos de medição de seus parâmetros quantitativos a antropometria, a cinemetria, a dinamometria e a eletromiografia.

### 1.5.1 Antropometria

A palavra antropometria tem origem na palavra grega *anthropos*, que significa homem, e *metron* que significa medida. A antropometria pode ser definida como a medida de determinadas características do corpo humano, como es-

tatura, massa, volume, densidade, centro de gravidade e momento de inércia da massa. Ao investigar e conhecer os aspectos fundamentais para a melhor análise cinética e cinemática do movimento, será possível determinar características e propriedades do aparelho locomotor. Algumas dessas características são descritas como: as dimensões das formas geométricas de segmentos, distribuição de massa, braços de alavanca, posições articulares definindo um modelo antropométrico que contém parâmetros necessários à construção de um modelo biomecânico da estrutura analisada (Amadio et al., 1999).

Dentre as variáveis anteriormente descritas, algumas podem ser calculadas, como: (a) propriedades do biomaterial– resistência dos componentes do aparelho locomotor, elasticidade, deformação e limite de ruptura; (b) cinéticas (momento de inércia de segmentos corporais); (c) centro de rotação articular, origem e inserção muscular, comprimento e área de secção transversa dos braços de alavanca da musculatura; (d) densidade e distribuição da massa corporal.

Os métodos analíticos são os mais utilizados, caracterizando-se por modelos do corpo baseados em dados antropométricos do indivíduo, portanto medida direta, *in vivo*.

## 1.5.2 Cinemetria

A cinemetria é um método de medição cinemática que busca, a partir da aquisição de imagens da execução do movimento, observar o comportamento de variáveis dependentes, tais como: velocidade, aceleração, deslocamento, posição e orientação do corpo e seus segmentos.

O instrumento básico para medidas cinemáticas é baseado em câmeras de vídeo que registram o movimento, e então, por meio de sistemas específicos de análise, as variáveis cinemáticas podem ser obtidas.

Existem ainda outros métodos para o processamento de grandezas cinemáticas. Entre eles se destacam os métodos de medição direta, utilizados para: (a) medida de tempo, utilizando-se cronômetros para a base de tempo; (b) medida de ângulos, utilizando-se goniômetros para a determinação da posição de segmentos em eixos articulares; (c) medidas de aceleração, pelo uso de acelerômetros, que medem a quantidade de movimento pela posição de uma massa em deslocamento. Ainda através da fotografia, da cinematografia, e da cronofotografia, podemos registrar a imagem para processamento de variáveis cinemáticas.

### 1.5.3 Dinamometria

A dinamometria é um método de medição cinética que engloba todos os tipos de medidas de força, a fim de possibilitar a interpretação das respostas de comportamentos dinâmicos do movimento humano.

A dinamometria engloba todos os tipos de medidas de força (e pressão), internas e externas ao corpo. Dentre alguns exemplos podemos citar a força de reação do solo, a qual é transmitida na fase de apoio em atividades estáticas ou dinâmicas. Juntamente com o peso corporal, essas forças de reação do solo são, geralmente, a causa de qualquer alteração do movimento do centro de gravidade.

Os instrumentos básicos para avaliação em dinamometria são: as plataformas de força, baropodômetros, células de carga e aparelhos isocinéticos.

### 1.5.4 Eletromiografia

Eletromiografia (EMG) é um termo amplo que designa o método de registro da atividade elétrica de um músculo durante uma contração. A presente técnica permite inúmeras aplicações. Na prática clínica contribui para diagnóstico de doenças neuromusculares. Na reabilitação, auxilia na reeducação da ação muscular (*biofeedback* eletromiográfico). Na anatomia, com o intuito de revelar a ação muscular em determinados movimentos e na biomecânica como indicador de estresse, identificador de padrões de movimento, parâmetro de controle do sistema nervoso.

O sinal eletromiográfico (EMG) representa a atividade elétrica associada com a contração do músculo. Salienta-se que os sinais de EMG podem ser afetados pelas propriedades anatômicas e fisiológicas dos músculos, pelo esquema de controle do sistema nervoso periférico e pela instrumentação utilizada na coleta de sinal. Então, é importante entender os fundamentos das funções básicas dos músculos para o correto registro de sinais de EMG.

Como um parâmetro de controle, a eletromiografia é muito importante para a modelagem do sistema dinâmico neuromusculoesquelético. O resultado básico é o padrão temporal dos diferentes grupos musculares sinérgicos ativos no movimento observado. Portanto, por meio da eletromiografia determina-se de maneira direta a atividade muscular voluntária através do potencial de ação muscular.

A inervação muscular transmite os potenciais cuja atividade elétrica média pode ser detectada por eletrodos colocados na superfície da pele sobreposta ao músculo, e daí observam-se o início e o fim da ação muscular em movimentos, posturas, ou seja, o padrão temporal dessa inervação/ativação. Esses sinais coletados podem ser influenciados, entre outros fatores, pela velocidade de encurtamento e alongamento muscular, grau de tensão, fadiga e atividade reflexa. Segundo Winter (1991), é possível analisar dados do potencial de ação nervoso e relacioná-lo com medidas de função muscular, como: tensão, força, estado de fadiga, metabolismo muscular e- pode contribuir para a análise dos elementos contráteis. Comumente, a obtenção do sinal elétrico pode ser realizada com o auxílio de eletrodos intramusculares e de superfície, sendo os de superfície recomendados para avaliação de áreas com maior diâmetro; já intramusculares são sugeridos para regiões de menor diâmetro.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADIO, A.C., LOBO DA COSTA, P.H., SACCO, I.C.N. SERRÃO, J.C. ARAUJO, R.C. MOCHIZUKI, L., DUARTE, M. **Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano**: Descrição e Aplicação dos Métodos de Medição. Rev. Bras. Fisioter., v.3, n.2, p.41-54, 1999.
- GARDNER, E.; GRAY, D.I.; O'RAHILLY, R. **Anatomia**: estudo regional do corpo humano. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.
- NEUMAN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- SACCO, I.C.N., Tanaka, C. **Cinesiologia e Biomecânica dos Complexos Articulares**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- WINTER, DA. **The Biomechanics and motor control of human gait. Normal, Elderly and Pathological**. Ontario, Canada: University of Waterloo Press, 1991. 143 p.
-

# 2

## **Princípios Mecânicos para Análise Cinesiológica e Biomecânica**

## 2.1 Base Cinemática para Análise do Movimento Humano

A cinemática descreve o movimento de um corpo, sem se preocupar com as forças ou torques responsáveis pela sua produção. Um segmento do corpo humano estará em movimento se a sua posição for diferente em diferentes momentos; se a posição não se alterar ao longo do tempo, o segmento estará em repouso. Para podermos determinar a posição de um segmento corporal, será necessário usarmos outros segmentos como referência, ou mesmo a posição anatômica. Assim, o movimento é um conceito relativo, já que um segmento pode estar em repouso em relação a um primeiro referencial, mas em movimento em relação a um segundo referencial.

### 2.1.1 Conceito

Cinemática é o ramo da mecânica que descreve o movimento de um corpo sem se preocupar com as forças ou os torques que podem produzi-lo.

Na biomecânica, o termo corpo é utilizado de forma flexível para descrever um corpo inteiro ou de uma de suas partes ou segmentos. De modo geral, existem dois tipos de movimento: translação e rotação.

### 2.1.2 Formas de movimentos: translação (linear), rotação (angular) e movimentos combinados

A translação descreve um movimento linear, sendo que todas as partes de um corpo se movem paralelamente a todas as outras e na mesma direção. Pode ocorrer em linha reta (retilínea) ou em curva (curvilínea).

A rotação é definida como movimento em que um corpo rígido se move de forma circular ao redor de um pivô central, o qual é tido como eixo de rotação para o movimento angular. Para a maioria das articulações, o eixo de rotação está situado no interior das articulações.

Ao analisarmos o movimento do corpo humano, observamos que ocorre a translação do centro de massa, o qual está localizado imediatamente anterior ao sacro.

A artrocinemática descreve o movimento que ocorre entre as superfícies articulares, pois existem três movimentos fundamentais entre as superfícies articulares curvas: rolamento, deslizamento e giro. No movimento de rolamento, ocorre o contato entre múltiplos pontos de uma superfície articular em rotação com a outra superfície; já no movimento de deslizamento, ocorre o contato de um único ponto de uma superfície articular com múltiplos pontos da outra superfície articular e, por último, o movimento de giro no qual um único ponto na superfície articular faz contato com um único ponto em outra superfície.

Diversas articulações promovem movimentos combinados de rolamento, deslizamento e giro. Um exemplo é articulação do joelho, em que ocorre a rotação interna do fêmur conforme o côndilo rola e desliza em relação à tibia, fixa durante o movimento de extensão.

### 2.1.3 Posições de Referência: Posição Anatômica e Posição Fundamental

Posição anatômica é uma posição de referência universalmente aceita para a descrição de regiões e relações espaciais do corpo humano de modo a permitir a referência de posições do corpo humano. Quando na posição anatômica, o corpo está ereto com os pés juntos e paralelos e os membros superiores posicionados ao lado, palmas das mãos voltadas para a frente (anterior), os polegares voltados para longe do corpo e os dedos estendidos.

Alguns profissionais preferem o uso do termo “Posição Fundamental”, porém essa posição se difere da anatômica, pois nesta os membros superiores e as palmas das mãos permanecem virados para a lateral do corpo, ou seja, as mãos permanecem viradas para a coxa.

### 2.1.4 Planos e Eixos de Movimento

O movimento dos segmentos corporais ocorre em três planos anatômicos, também conhecidos como planos cardinais, a saber: Plano sagital – corre paralelamente à sutura sagital do crânio e, divide o corpo em direito e esquerdo; Plano frontal (ou coronal) – segue paralelamente à sutura coronária do crânio e, divide o crânio em anterior e posterior; Plano transversal (ou horizontal) divide o corpo nas porções superiores (superiores) e inferior (inferior). Cada plano é perpendicular ao outro, sendo que, quando ocorre o movimento num plano,

deve-se rodar em torno de um eixo que tem uma relação de 90 graus em relação ao plano. Durante as atividades de vida diária (AVD), exercícios e esportes, o movimento geralmente ocorre em mais de um plano em um determinado conjunto. Compreender planos e eixos do corpo é útil para descrever os principais movimentos do corpo e instrumental ao projetar programas de exercícios eficazes.

O ponto de pivô para o movimento das articulações do corpo é denominado eixo de rotação. Para a maioria das articulações, o eixo de rotação está localizado no interior da estrutura da articulação. Os eixos são denominados como: eixo mediolateral, aquele que permite os movimentos de flexão e extensão; eixo ântero-posterior, aquele que permite os movimentos de adução e abdução; eixo longitudinal (ou vertical), aquele que permite rotação interna e externa. Salienta-se que o movimento que ocorre num determinado eixo de movimento acontece dentro de plano anatômico, como durante a flexão do cotovelo, o qual possuiu o eixo mediolateral, e o movimento acontece dentro do plano sagital, sendo o último o plano do movimento.

### 2.1.5 Termos que Descrevem Movimentos Gerais

Além de planos e eixos anatômicos, vários termos de direção são utilizados descrever a posição das estruturas em relação à posição anatômica.

Em direção à cabeça, é chamado superior, enquanto que, para os pés é inferior. Segmentos corpóreos voltados ou em movimento para frente do corpo estão em anterior e, quando estão para a parte de trás, estão na direção posterior. Segmento ou movimento que vai em direção à linha média do corpo está no sentido medial, enquanto o movimento ou a posição ou sentido oposto, ou seja, para os lados do corpo é lateral. Existem muitos outros termos anatômicos que têm significados semelhantes como estes, porém esses são comumente mantidos na sua forma original clássica, em latim ou grego. Por exemplo, superior é sinônimo de cefálico, enquanto inferior é o mesmo que caudal.

O uso cuidadoso da terminologia é importante em ciência e profissões para evitar confusão. Um exemplo da confusão que pode ocorrer com o uso de termos gregos ou latinos desconhecidos, dos termos valgo e varo. Os significados originais gregos desses termos podem estar em desacordo com o seu uso típico na medicina ortopédica. Aa medicina geralmente define genu (joelho) valgo como um desvio para dentro da articulação do joelho, enquanto

o genu varo geralmente corresponde a um desvio do joelho para o exterior, o que resulta numa aparência de pernas arqueadas. Isto leva a uma considerável confusão em descrever anormalidades anatômicas, e alguns têm sugerido que estes termos sejam descartados ou, pelo menos, definidos cada vez que são utilizados.

A descrição dos movimentos pode receber terminologia específica em sua descrição. O movimento de flexão refere-se à diminuição do ângulo de uma determinada articulação no plano sagital, enquanto o movimento de extensão é aquele que promove o aumento do ângulo da articular. Deste modo, os movimentos nos extremos da amplitude de movimento são muitas vezes denominados como "hiper", por exemplo, a hiperextensão.

Movimento de um segmento afastado da linha média no plano frontal é "abdução", enquanto o movimento de volta para a linha média é chamadas de "adução". Propostas conjuntas no plano transversal são geralmente chamados de rotação interna (rotação do aspecto anterior do segmento direção à linha média) e rotação externa. Alguns exemplos de termos de movimento articular especiais são "pronação", que se refere à rotação interna do antebraço na articulação radioulnar, ou "adução horizontal", que é desvio do ombro (articulação glenoumeral) em direção à linha média de um plano transversal. Como os termos direcionais, a terminologia anatômica relacionadas com as rotações das articulações também é usada incorretamente. É incorreto dizer "uma pessoa está flexionando um músculo", porque a flexão é um movimento articular.

## 2.1.6 Cadeias Cinemáticas de Movimentos

A denominação de cadeia cinemática aberta e fechada é frequentemente utilizada na literatura. Uma cadeia cinemática apresenta uma série de segmentos articulados, como a conexão entre a pelve, a coxa, a perna e o pé no membro inferior.

Os termos cadeia aberta ou cadeia fechada, são comumente utilizados para demonstrar se o segmento mais distal da cadeia está fixado ao solo ou a algum objeto imóvel. Uma cadeia cinemática aberta apresenta uma situação em que a extremidade do membro não está fixada ao solo ou a algum objeto imóvel e assim, o segmento está livre para se mover.

Uma cadeia cinemática fechada descreve uma situação oposta, em que o segmento mais distal da cadeia está fixo ao solo ou a um objeto imóvel. Esses termos são empregados para descrever métodos de aplicação de exercícios resistidos, principalmente nas articulações do membro inferior.

## 2.2 Base Cinética para Análise do Movimento Humano

### 2.2.1 Conceito

A cinética é o ramo de estudo da mecânica que descreve os efeitos da força sobre um corpo. Uma força pode ser considerada de tração ou um impulso que pode produzir, retardar ou modificar os movimentos. Ao agir sobre o corpo, uma força, é frequentemente denominada de maneira geral de carga.

### 2.2.2 Natureza dos Fluidos e Resistência Dinâmica

Mecanicamente, os fluidos são definidos como substâncias que fluem continuamente ou deformam quando na presença de forças de cisalhamento.

O fluido não possui forma própria e usualmente assume a forma do recipiente que o contém, por exemplo, o ar dentro dos pulmões, ou mesmo, o líquido sinovial de uma articulação.

As forças de resistência do fluido são denominadas força de atrito hidrodinâmico ou força de atrito aerodinâmico; comumente são denominadas de força de arrasto. O arrasto é uma força de atrito que, ao se opor ao movimento, promove a redução da velocidade dele, sendo proporcional ao quadrado da velocidade e da maior área de seção transversal ao fluxo. Os tipos de força de arrasto são denominados: arrasto de superfície, de forma e de onda, sendo que todas elas atuam em oposição à direção de movimento do corpo que se desloca no fluido, compõem parte do arrasto total e sofrem ação dependente do tamanho, forma, posição do corpo e da velocidade, densidade, temperatura do fluido.

O arrasto de superfície pode ser exemplificado como o atrito causado pelo ar na pele e ocorre pelo movimento oposto do fluido e do corpo, o que ocasiona forças de cisalhamento com as camadas adjacentes. A viscosidade, uma propriedade dos fluidos, é diferente entre o ar e água, por exemplo, sendo que tal fato contribui para o movimento acelerado dos segmentos corpóreos quando presentes em contato com o ar, devido à sua baixa viscosidade.

O arrasto de forma é a resistência criada pela existência de diferença de pressão entre os diferentes lados do corpo, quando esse se move por meio

de um determinado fluido. Um exemplo seria uma bola viajando pelo ar, ao passar pelo fluxo laminar, a bola cria na região posterior um fluxo turbulento, o qual possui pressão menor que a região anterior. Tal arrasto tende a reduzir a velocidade da bola. Assim, a área do corpo perpendicular ao fluxo laminar é responsável por determinar a magnitude do arrasto de forma.

O arrasto de onda é tido como uma força de resistência ocasionada pelo movimento do corpo sobre um fluido viscoso, como a água, o qual é capaz de formar ondas, sendo comumente definida pela força de reação exercida pelo fluido sobre o corpo que constituiu a onda de arrasto. Quando um corpo está perfeitamente submerso, a força de arrasto de onda não está presente.

Além das forças de resistência dinâmica descritas, podem atuar sobre um corpo disposto num determinado fluido o empuxo dinâmico, também conhecido como força de sustentação. Esta força é perpendicular ao fluxo e à força de arrasto, sendo que pode atuar para cima, para baixo ou na horizontal, dependendo do movimento do corpo. Assim, o empuxo dinâmico obedece ao princípio de Bernoulli, em que a velocidade alta do fluxo, promove uma região de baixa pressão na superfície de contato e, por sua vez, onde a velocidade é baixa, a pressão é alta.

Já o empuxo é uma força vertical igual e contrária ao peso do fluido deslocado pelo corpo inserido nele. Essa força também é denominada como flutuabilidade. Alguns fatores contribuem para a flutuabilidade, pois, quanto mais denso o fluido, maior será a força de flutuabilidade.

### 2.2.3 Comportamento Ativo e Passivo do Sistema Musculoesquelético

As palavras contração e ativação podem ser consideradas sinônimas independentemente do comportamento muscular, em encurtamento, alongamento ou em seu comprimento constante.

A ação muscular pode ser definida, como a capacidade de um músculo em provocar um torque em uma determinada direção e plano de rotação. A ação muscular se baseia na nomenclatura definida como, extensão, flexão no plano, sagital, abdução e adução no plano frontal.

Um músculo é considerado ativo quando é estimulado pelo sistema nervoso.

## 2.2.4 Centro de Gravidade e Estabilidade no Movimento

Cada corpo possui um ponto chamado de centro de massa, sobre o qual a massa é uniformemente distribuída em todas as direções. Ao ser exposto à gravidade, o centro de massa de um corpo coincide rigorosamente com o centro de gravidade. Por definição, o centro de gravidade é o ponto sobre o qual os efeitos da gravidade estão perfeitamente equilibrados. O centro de massa de um corpo em posição anatômica decai sobre a segunda vértebra sacral, todavia essa posição se altera conforme a pessoa muda de posição.

Cada segmento do corpo humano possui um centro de massa definido. A localização do centro de massa dentro de cada segmento isolado (exemplo: coxa, perna e pé) permanece fixa, aproximadamente no seu ponto médio; em contrapartida, o centro de massa do membro inferior como um todo altera sua localização conforme ocorre o movimento.

## 2.2.5 Sistema de Alavancas

No corpo, as forças internas e externas produzem torques por meio de um sistema de alavancas ósseas. Uma alavanca é uma máquina simples, composta por um bastão rígido suspenso por um ponto de pivô. A alavanca tem por função converter uma força linear em torque rotatório.

Por definição, a distância perpendicular da linha de ação da força do músculo até a articulação (eixo rotacional ou pivô) de interesse é denominada de braço do momento (ou braço de alavanca). O torque muscular é o produto entre a força muscular e o comprimento do braço de momento.

As forças mais importantes envolvidas nas alavancas musculoesqueléticas são aquelas geradas por músculos, pela gravidade e pelo contato físico com o ambiente.

Existem três tipos de alavancas: de primeira, segunda e terceira classe.

Alavanca de primeira classe: apresenta seu eixo de rotação posicionado entre as forças opostas. No corpo humano, temos, por exemplo, os músculos extensores da cabeça e do pescoço, que controlam a postura no plano sagital.

Alavanca de segunda classe: esta sempre apresenta duas características. Primeiro, seu eixo de rotação está localizado em uma extremidade óssea. E segundo, o músculo apresenta maior alavancagem do que a força externa. São mais raras no sistema musculoesquelético. Um exemplo desse tipo de alavanca, é a produção do torque para ficar na ponta dos pés, pelos músculos surrais (NEUMAN, 2007).

Durante a realização de uma alavanca de terceira classe, o eixo rotacional se localiza na extremidade óssea. O peso suportado por essa alavanca tem maior alavancagem do que a força muscular. Um exemplo é a ação dos músculos flexores de cotovelo, os quais realizam um torque flexor necessário para a manutenção de um peso colocado na mão. É a mais encontrada no sistema musculoesquelético.

## Momento e torque articular

Um momento descreve a quantidade de movimento possuída por um determinado corpo, seja ele, um segmento corporal. O torque é definido como o produto de uma determinada força pela distância perpendicular desde a linha de ação da força até o eixo de rotação. Pode ser chamado também de Momento de Força (Unidade do torque: Newton.metro;  $T = \text{torque}$   $F = \text{força em Newtons}$   $r = \text{distância perpendicular em metros}$ ).

Assim:  $T = F \times r$

Para a ocorrência de um torque faz-se necessário a presença de uma alavanca, que consiste em uma barra relativamente rígida a qual pode ser rodada ao redor de um eixo fixo ou móvel. No corpo humano é representada pelo osso. A força aplicada na alavanca movimenta uma resistência, comumente a força peso ou resistência imposta pelos tecidos. Os constituintes de uma alavanca são: Ponto de apoio ou fulcro, Força de Resistência e Força de esforço ou Potência. As distâncias entre o fulcro e os pontos de aplicação das forças de resistência e potência denominam-se respectivamente braço de resistência e braço de potência.

Segundo Hamil e Knutzem, (2012) uma alavanca pode ser avaliada pela sua eficácia, para isso podemos lançar mão de um cálculo de vantagem mecânica (VM). A VM pode ser obtida pela relação entre os braços de potência e de resistência. Ao nos depararmos com uma VM de valor 1, temos que a função da alavanca é alterar a direção do movimento ou se equilibrar, mas não é capaz de ampliar as forças de resistência ou potência. Quando a VM é maior que 1, o braço de potência é maior que o de resistência, assim o torque é amplificado. Já quando a VM é menor que 1, o braço de potência é menor que o braço de resistência. Assim, existe a necessidade de uma força de potência muito maior para sustentar a força de resistência. Assim, quando a VM é menor que 1 pode-se dizer que ocorre aumento na velocidade de movimento.

## 2.2.6 Tipos de Cargas Mecânicas Atuando nos Biomateriais

As cargas frequentemente aplicadas ao sistema musculoesquelético podem deformá-lo e causar sua ruptura. As cargas que atuam sobre o corpo humano são: tensão, compressão, flexão, cisalhamento, torção e a forças combinadas.

A compressão é quando uma força externa tende a apertar as moléculas de um material em conjunto. A tensão é quando a carga atua para esticar ou separar o material. Por exemplo, o peso de um corpo tende a comprimir o pé contra o solo na fase de apoio da corrida, que é resistido por uma carga de tração entre o feixe plantar e o ligamento longitudinal do pé. Na flexão, temos a ação de uma força de compressão e uma de tensão dependendo do lado da estrutura analisado. Quando uma pessoa apoia um único membro no solo, a região medial do fêmur está em compressão, enquanto a face lateral está em tensão. O cisalhamento é uma carga em ângulo reto atuando em direções opostas. Um instrutor cria uma carga de corte através de fita com lâminas da tesoura.

Quando muitas forças estão agindo sobre um corpo, pode ocorrer a criação de cargas chamadas de torção e flexão, as quais são também denominadas de forças combinadas.

## 2.2.7 Tipos de Deformações

A deformação descreve a distensão progressiva de um material exposto a uma carga constante num determinado período. Ao se analisar um gráfico carga *versus* deformação, durante o mecanismo de compressão ou estiramento do material, podemos identificar dois tipos de deformação, sendo a primeira elástica e a segunda plástica.

A região elástica de um determinado tecido é composta pela porção não linear inicial e pela região linear subsequente até próximo ao limite de ruptura. Após a retirada da carga, a maior parte da energia usada na distensão do tecido é liberada enquanto a força é removida, assim o tecido retorna ao seu comprimento de origem. Os ligamentos são continuamente distendidos até seu limite elástico, realizando importante papel de estabilização articular.

Ao alongar um tecido além de seu limite fisiológico, ou seja, no seu ponto de ruptura, acontece a lesão. Neste ponto, o aumento da distensão resulta em apenas aumentos marginais de estresse (tensão). Esse comportamento de um tecido superdistendido (ou supercomprimido) é conhecido como

plasticidade. O tecido superdistendido sofreu uma deformação plástica. Neste ponto, houve falência de seu material e sua deformação é permanente. Ao contrário da energia elástica, a energia plástica não é completamente recuperada neste momento, nem mesmo quando a força deformadora é removida.

Caso ocorra a permanência da ação da carga de estiramento ou compressão, o tecido atinge seu ponto de falência final, em que o tecido se separa, parcial ou completamente, e perde sua capacidade de suportar qualquer nível de tensão.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADIO, A.C., LOBO DA COSTA, P.H., SACCO, I.C.N. SERRÃO, J.C. ARAUJO, R.C. MOCHIZUKI, L., DUARTE, M. **Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano**: Descrição e Aplicação dos Métodos de Medição. *Revi. Bras. Fisioter.*, v.3, n.2, p.41-54, 1999.
- HAMILL, J. KNUTZEN, K.M. **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. 1ª Edição. Barueri: Manole, 2012.
- KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. 2ª Edition. New York: Springer, 2007.
- NEUMAN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- SACCO, I.C.N., TANAKA, C. **Cinesiologia e Biomecânica dos Complexos Articulares**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
-



# 3

## **Sistema Neuromuscular Aplicado ao Movimento**

## 3.1 Organização Estrutural do Músculo Estriado Esquelético

O músculo esquelético é constituído por dois grandes conjuntos de células, um especializado em promover contração, composto pelas miofibrilas, e outro responsável em promover sustentação, composto pelo tecido conjuntivo, que possui dentre os seus constituintes os fibroblastos (KJÆR et al., 2003).

A organização, o número, o tamanho e o tipo dessas fibras variam de músculo para músculo (WANG; KERNELL, 2001), mas cada fibra muscular é envolvida por uma membrana chamada sarcolema. Como as outras células do organismo, a fibra muscular é composta por citoplasma, denominado de sarcoplasma. Essas duas regiões, sarcolema e sarcoplasma, estão interligadas por um conjunto de proteínas que formam o costâmero. Estas proteínas são responsáveis pela transmissão das forças geradas pelas miofibrilas à matriz extracelular (MEC), e vice-versa (HERRMANN et al., 2007).

As miofibrilas são células alongadas, cilíndricas, com vários núcleos em sua periferia, possuem tipos e subtipos, com diferentes propriedades. Cada miofibrila está envolvida por uma quantidade de tecido conjuntivo denominado endomísio. Agrupadas em feixes, elas encontram-se envolvidas por outra camada de conjuntivo denominada perimísio, sendo esse conjunto denominado de fascículo. Ao redor do músculo encontra-se o epimísio, que representa a camada mais externa de tecido conjuntivo. Esse tecido tem continuidade até os tendões. Adicionalmente, nervos motores penetram pelo músculo e inervam, por meio de axônios terminais, cada miofibrila. Nervos sensoriais penetram no fuso muscular e enviam e recebem informações do estado de contração. Além destes constituintes, o músculo esquelético é altamente vascularizado, o que fornece nutrientes essenciais para a função muscular (KJÆR et al., 2003).

A miofibrila é composta por filamentos finos e grossos chamados miofilamentos. O miofilamento fino é composto pela proteína actina, e o grosso, pela proteína miosina. A interação desses dois miofilamentos é essencial na contração muscular. O miofilamento fino é formado por dois filamentos de actina, um enrolado no outro, onde moléculas de proteína globular, chamadas de troponina, são encontradas nos sítios de ligação entre os dois filamentos, e a proteína tropomiosina liga-se em cada molécula de troponina. A troponina e a tropomiosina possuem ativação de cálcio dependentes, sendo componentes essenciais para regulação da contração muscular (CLARK et al., 2002).

O miofilamento grosso é composto por grandes moléculas de miosina, organizadas para formar um filamento longo. Cada molécula tem um alargamento, chamado de cabeça. As cabeças da miosina são capazes de mover-se e ligar-se aos sítios da actina, gerando assim a contração ou relaxamento muscular (LEVITSKY, 2004).

As proteínas musculares contráteis estão envolvidas por tecido conjuntivo que formam as fáscias musculares. Devido à disposição elástica em série desse tecido colagenoso, dão origem aos tendões, e os componentes elásticos paralelos apresentam função de sustentação da fibra muscular. Quanto maior a proporção de colágeno para as fibras elásticas, maior será o número de fibras que são orientadas na direção do estresse e, quanto maior a área transversal ou a largura do tendão, mais forte ele será. A propriedade viscoelástica do tecido é importante e corresponde ao limite de elasticidade e, se o alongamento continuar, pode resultar em lesão.

## 3.2 Unidade Motora e Recrutamento

A coordenação e regulação de movimento é de grande interesse para muitos estudiosos. No final estrutural do processo de controle neuromuscular, acontece graças às unidades funcionais denominadas unidades motoras.

A unidade motora é representada por um motoneurônio e todas as fibras musculares que ele inerva. A ativação de um axônio motor resulta em estimulação de todas as fibras que a unidade motora engloba, o que promove a contração resultante. Nesse sentido, as fibras de uma unidade motora têm uma ação sincronizada, a se denominada de "tudo-ou-nada". Esse achado foi identificado pelo trabalho pioneiro em neurofisiologia da ativação muscular desenvolvido no século XX por Sherrington, Arian, e Denny-Brown.

Neurônios motores pequenos inervam relativamente poucas fibras musculares, formando unidades motoras capazes de gerar menos força. Por sua vez, neurônios motores grandes inervam maior quantidade de fibras musculares, formando unidades motoras maiores e mais potentes.

## 3.3 Comportamento Mecânico dos Diferentes Tipos de Fibras Musculares

O componente muscular do corpo humano é formado por dois tipos principais de fibras musculares, que são as vermelhas e as brancas.

As fibras vermelhas ou fibras do Tipo I e as brancas ou do Tipo II. Sua classificação foi feita de acordo com as características de contração e com sua capacidade metabólica.

As fibras vermelhas ou do tipo I são fibras de contração lenta, as quais utilizam como sistema de energia a via aeróbia, por meio da utilização do oxigênio. São altamente resistentes à fadiga e mais utilizadas em exercícios de longa duração, como por exemplo, a natação e a corrida. Já as fibras brancas ou do tipo II, utilizam o sistema de energia anaeróbio por meio do uso da fosfocreatina e glicose. Possuem alta capacidade para contrair-se rapidamente, porém são pouco resistentes à fadiga. Predominam em atividades que exigem paradas, mudança de ritmo, direção, como, por exemplo, a musculação.

## 3.4 Unidade Musculotendínea

A unidade musculotendínea ou junção miotendínea é a região de transição que possibilita a transmissão regional de forças. As fibras musculares diminuem de diâmetro em até 90% quando se fundem ao tecido tendíneo, aumentando significativamente a tensão por meio da área de secção transversa. Além disso, os sarcômeros localizados próximo à junção miotendínea comumente são menores e possuem menor geração de força, aumento da taxa de contração e 10 diminuição da habilidade de mudar de comprimento (MALONE et al., 1996). Para minimizar esse impacto, tem-se em cada extremidade da fibra muscular uma extensa dobra do sarcolema formando interdigitações que conectam os filamentos terminais de actina do sarcômero com o tecido do tendão, via proteínas transmembrana. Estas interdigitações aumentam a área de contato e permitem a redistribuição das forças, reduzindo o estresse sobre o músculo (CURWIN, 1996).

A compreensão do comportamento mecânico do músculo esquelético é importante para o entendimento da flexibilidade. O tecido muscular é composto

por dois elementos, sendo um contrátil (EC) e outro elástico (E) do músculo. O EC é representado pelo componente ativo, sendo formados pelos miofilamentos de actina e miosina, e o E é representado pelo componente passivo, formado pelo tecido conectivo (endomísio, perimísio e epimísio). Estes elementos resistem à deformação do músculo e do tendão quando são submetidos a uma força de tração, o que contribui para restrição da flexibilidade ( KJAER, 2004). O tecido conectivo muscular é formado por tecido conjuntivo denso e está presente nos envoltórios das estruturas musculares. Vale salientar que esse tecido é rico em colágeno, grande responsável pela rigidez do tecido.

O epimísio é constituído por uma camada de tecido conjuntivo que envolve todo o músculo e se afunila em suas extremidades, formando o tendão. O perimísio circunda cada fascículo, que é um conjunto de aproximadamente 150 fibras musculares. O endomísio é uma fina camada de tecido conjuntivo que envolve cada fibra muscular. Sob o endomísio está localizado o sarcolema, que envolve o sarcômero, unidade funcional do músculo (KJAER, 2004).

As fibras elásticas são compostas por elastina, a qual é capaz de se alongar até 150%, o que demonstra a sua capacidade de complacência quando comparadas às fibras de colágeno. Desta forma, a proporção entre o número de fibras colágenas e elásticas de um tecido vai determinar sua maior rigidez ou complacência (CULAV et al., 1999).

## 3.5 Propriedades Comportamentais do Tecido Muscular

O desempenho do músculo sob a variação de cargas e velocidades comumente é determinado por cinco propriedades: irritabilidade, contratilidade, extensibilidade, elasticidade e capacidade de desenvolver tensão.

Irritabilidade ou excitabilidade compreende a capacidade do músculo em responder à estimulação oriunda de um motoneurônio.

A contratilidade corresponde à capacidade que o músculo possui em gerar tensão ao se encurtar após receber estimulação satisfatória. O corpo humano possui músculos capazes de se encurtar entre 50% e 70%.

A Extensibilidade se define pela capacidade do músculo se alongar além do comprimento de repouso, sendo determinada pela quantidade de tecido conjuntivo presente no músculo.

A elasticidade é a capacidade da fibra muscular de retornar ao seu comprimento de repouso, assim que seja removida a força de alongamento, sendo sua capacidade também determinada pela quantidade de tecido conjuntivo presente no músculo.

A capacidade de produzir força ou tensão de um músculo depende do comprimento em que ele se encontra quando estimulado. A tensão máxima é produzida quando o músculo está próximo do seu comprimento de repouso. Quando o músculo está em uma posição de encurtamento, a tensão diminui lentamente e depois mais rapidamente. Quando o músculo está em uma posição de alongamento, a tensão progressivamente diminui.

## 3.6 Abordagem Mecânica das Contrações (Ações) Musculares

Os músculos que geram o movimento articular são chamados de agonistas e aqueles que se opõem ao movimento articular, ou que promovem o movimento oposto, são chamados antagonistas.

Os músculos são também utilizados como estabilizadores, de modo a contribuir para um movimento específico em uma articulação adjacente. Este tecido também pode atuar como um neutralizador, momento este em que o músculo se contrai para eliminar um movimento indesejado de outro músculo.

As contrações musculares podem ser classificadas como isométricas ou isotônicas.

A ação muscular isométrica é aquela em que o músculo gera tensão sem ocasionar mudança visível na posição da articulação.

As contrações isotônicas envolvem desenvolvimento de tensão por parte do músculo para originar ou controlar o movimento articular, proporcionando variação no grau de tensão dos músculos de modo que os ângulos articulares se modifiquem. É subdividido em concêntrico e excêntrico, dependendo se ocorrerá encurtamento ou alongamento.

Se um músculo promove movimento e se encurta visivelmente, dizemos que esta é uma contração concêntrica.

Na contração excêntrica, o músculo é submetido a um torque externo maior do que aquele gerado pelo próprio músculo, e assim ele se alonga durante o momento de contração.

Essas ações musculares são muito diferentes em termos do seu custo energético e produção de força. A contração excêntrica é capaz de gerar a mesma produção de força ou até superior aos outros dois tipos de ações musculares com o recrutamento de menor número de fibras. Tal fato acontece no nível do sarcômero, local onde a força aumenta além da força isométrica máxima se a miofibrila estiver alongada e for estimulada.

A contração concêntrica possui menor capacidade de geração de força, devido à redução do número de pontes cruzadas formadas com o aumento da velocidade de contração.

Um fator que contribui para a diferença da capacidade de gerar força entre as contrações excêntricas e concêntricas ocorre quando as ações geram movimento verticais. Nesse caso, a produção de força é influenciada pelos torques criados pela ação da gravidade.

A força gravitacional cria um torque descendente associado à ação excêntrica para o controle de um movimento de agachamento; outro exemplo é a ação concêntrica gerada para a produção de inibição do movimento na presença do força peso.

Existem ainda dois tipos de contrações importantes a serem descritos: a isocinética e a isoinercial.

A contração isocinética é a contração muscular dinâmica, na qual a velocidade de movimento é mantida constante e associada a uma sobrecarga muscular, proporcionada por meio do uso de um equipamento específico. São iniciados com um mínimo de resistência, a qual sofre um gradual aumento. É um tipo de contração que favorece a resistência muscular.

Já a contração isoinercial é uma resistência a qual o músculo tem de se contrair constantemente.

## 3.7 Comportamento Mecânico dos Músculos Biarticulares e Poliarticulares

Ao se relatar a ação dos músculos biarticulares ou poliarticulares, não se pode determinar a função apenas analisando o ponto de inserção. Um músculo pode ser capaz de gerar movimento tanto na sua origem, quanto na inserção.

Na maioria das vezes, um músculo promove o movimento de apenas um segmento, ou seja, daquele onde o músculo atravessa a articulação. Os músculos

biarticulares ou poliarticulares fogem a esta regra, comumente atravessam mais de uma articulação, criando um número relativo de movimentos que ocorrem de modo oposto entre si. Assim, esta ação depende da posição do corpo e da interação do músculo com a superfície em que o membro está apoiado ou mesmo a um objeto no qual o segmento está fixado ou estabilizado.

Assim, a maior contribuição dos músculos biarticulares se encontra na redução do trabalho dos músculos monoarticulares, ou seja, reduzem o gasto energético, por permitirem o trabalho positivo em uma articulação e o negativo em um outra articulação adjacente.

Os músculos biarticulares ou poliarticulares podem apresentar mais frequentemente um fenômeno denominado de insuficiência, a qual pode se apresentar como ativa e passiva. A insuficiência ativa ocorre quando um músculo atinge um ponto em que não pode mais ser encurtado. Por exemplo, o músculo bíceps braquial é responsável pela flexão de cotovelo e também flexão de ombro. Se tentarmos realizar uma flexão de ombro e cotovelo ao mesmo tempo, o bíceps ficará em insuficiência ativa, em razão da proximidade de suas inserções. Já a insuficiência passiva ocorre quando um músculo não pode mais ser alongado sem danificar suas fibras. Por exemplo, os músculos isquiotibiais realizam duas ações diferentes em duas articulações: promovem a flexão do joelho e a extensão do quadril. Quando fletimos o quadril com o joelho estendido, os isquiotibiais ficam em insuficiência passiva.

## 3.8 Fatores Mecânicos que Afetam na Força Muscular

### 3.8.1 Área de Corte Transversal Fisiológico

A arquitetura de um músculo pode determinar sua capacidade de geração de força e velocidade de movimento. A área de corte transversal fisiológico se refere à soma da área em corte transversal de todas as fibras musculares dentro do músculo. Esta área de corte transversal fisiológica de uma fibra muscular depende do grau de separação, inclinação ou dispersão dos sarcômeros. As mudanças no ângulo de separação, inclinação ou dispersão sarcomérico permitem mudanças na velocidade de encurtamento muscular. Desta for-

ma, músculos com maior separação ou área de corte transversal fisiológica, são capazes de produzir maior força, no entanto com perda na velocidade de contração

Caracteristicamente, fibras longas em paralelo exibem uma faixa de trabalho mais longa, o que gera maior amplitude de movimento e velocidade de contração.

### 3.8.2 Ângulo de Inserção Muscular X Aproveitamento da Força

O ângulo de inserção muscular pode estabilizar ou desestabilizar o segmento, de modo a aproximar ou afastar o osso da articulação. A força muscular é direcionada ao longo da extensão do osso e para dentro da articulação quando o ângulo do tendão for reto sobre o osso. Para que ocorra flexão, uma força maior é necessária para mover os segmentos em torno da articulação e para mover o antebraço na direção do cotovelo, a fim de estabilizar a articulação.

Existem dois componentes da força: a componente rotatória e a componente de deslizamento. A componente rotatória é a componente da força muscular que atua de forma perpendicular ao eixo longitudinal do segmento, sendo responsável pelo torque, que permite o movimento de rotação do segmento em torno da articulação. Já a componente de deslizamento é a componente da força muscular que atua paralelamente ao eixo longitudinal do segmento.

Dependendo do ângulo de inserção do músculo, tende a puxar o osso para fora do centro articular (componente deslocadora) ou empurrá-lo em direção ao centro articular (componente estabilizadora) (HAMILL e KNUTZEN, 1999). Embora a tensão muscular possa ser mantida durante o movimento articular, o componente rotatório e o torque variam dependendo do ângulo de inserção.

### 3.8.3 Relação Comprimento x Tensão

A tensão muscular proporcionada pela fibra muscular depende da relação comprimento-tensão de seus sarcômeros. Mediante estímulo do sistema nervoso central, as proteínas contráteis dos sarcômeros provocam a contração ou encurtamento muscular. Essas proteínas são sustentadas por proteínas estruturais e por uma rede de tecidos conjuntivos extracelulares não contráteis, (epimísio, perimísio e o endomísio). Esses tecidos não contráteis são conhecidos como componentes elásticos paralelos e seriados do músculo. Os componen-

tes elásticos seriados são estruturas que repousam alinhadas em série com as proteínas ativas, como, por exemplo, os tendões. Já os componentes elásticos paralelos, são tecidos que repousam paralelamente às fibras ativas, como perimísio. O estiramento de um músculo alonga os componentes elásticos paralelos e seriados, proporcionando resistência similar a de uma mola.

Quando um músculo promove o estiramento de seus componentes elásticos e seriados e paralelos, é gerada uma curva de comprimento tensão passiva. A tensão passiva em um músculo estirado é atribuída às forças elásticas produzidas por elementos não contráteis, como os tecidos conjuntivos extracelulares, os tendões e as proteínas estruturais. A curva de comprimento tensão-passiva é uma parte importante da capacidade de total de geração de força da unidade musculotendínea. Essa tensão passiva se mostra importante em músculos estirados para movimentar e estabilizar as articulações contra as forças da gravidade.

O tecido muscular serve para produzir força (ativamente) por meio de estímulos do sistema nervoso central. A produção de força ativa é desencadeada e explicada pela hipótese do filamento deslizante (Hugh Huxley, Andrew Huxley, 1954), por meio da qual se acredita que a força ativa é produzida quando os filamentos de actina, ao deslizar sobre a miosina, aproximam os discos Z e estreitam a banda H, sobrepondo estes filamentos, com encurtamento dos sarcômeros. Cada cabeça de miosina se encaixa na miosina adjacente, formando o que se denomina de ponte cruzada. A força produzida por um sarcômero depende do número de pontes cruzadas. A disposição da actina e miosina no sarcômero influencia a quantidade de força ativa de acordo com o comprimento da fibra muscular. Qualquer mudança no comprimento da fibra muscular altera, portanto, a sobreposição entre actina e miosina.

Enfim, a força que uma fibra muscular pode gerar é diretamente proporcional ao número de pontes cruzadas entre os filamentos de actina e miosina.

#### 3.8.4 Relação Força x Velocidade

A relação força e velocidade é dependente do tipo de ação muscular. Na ação muscular concêntrica, ocorre a redução da força à medida que a velocidade aumenta. A força máxima é atingida quando a velocidade é zero, de modo que o inverso também pode ocorrer, ou seja, a velocidade é máxima quando a carga a ser vencida é leve. Uma situação oposta surge quando ocorre alongamento,

em que aumenta a velocidade de deformação dos componentes passivos, o que resulta em maior capacidade de geração de força.

Ao reduzir a velocidade com o aumento da carga, a maior potência poderá ser gerada. A potência é definida como o produto da força pela velocidade.

No caso das ações musculares excêntricas, ocorre o oposto que acontece nas ações concêntricas. Comumente ações excêntricas são geradas por músculos antagonistas, pela gravidade ou por alguma outra força externa. Neste tipo de ação, a tensão aumenta com a velocidade de alongamento, porque o músculo está se alongando durante o momento contrátil.

### 3.8.5 Ciclo Excêntrico-Concêntrico

Existem peculiaridades de como as fibras de contração rápida e lenta lidam com o pré-alongamento e modificam a tensão ao longo do tempo. No denominado ciclo alongamento-encurtamento, o músculo aumenta sua tensão por meio do acúmulo de energia potencial elástica no componente elástico em paralelo do músculo. Assim, se uma contração ocorre num período razoável de tempo (0,9 s), a energia armazenada será recuperada e utilizada no movimento oposto; deste modo, algumas estruturas do músculo se comportam como uma mola e devolvem a energia acumulada. Entretanto, se o alongamento é mantido por um longo período, a energia elástica acumulada se perderá por meio da produção de calor e não contribuirá efetivamente para o movimento oposto.

Um pré-alongamento com baixa amplitude em um curto período de tempo é uma técnica que contribui para melhorar a ação muscular concêntrica, principalmente mediante o retorno da energia elástica e aumento da ativação do músculo. Esse modo acelera a capacidade de obter maior retorno da energia absorvida durante a ação excêntrica. Este ciclo é denominado excêntrico-concêntrico e faz parte de um protocolo de condicionamento conhecido como pliometria. Neste caso, o músculo é submetido a um rápido alongamento (ação excêntrica) seguido de uma ação concêntrica ao final do alongamento.

### Relação Tempo x Tensão

A tensão gerada por um músculo é proporcional ao tempo de contração, ou seja, quanto mais longo for o tempo de contração, maior será a força desenvolvida, até um ponto denominado de tensão máxima. Assim, uma contração mais

lenta produz maior força, porque o tempo necessário está disponível para que a tensão produzida pelos elementos que contribuem para contração seja transmitida aos elementos elásticos paralelos ao tendão (NORDIM & FRANKEL, 2003).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARK, K. A.; MCELHINNY, A.S.; BECKERLE, M. C.; GREGORIO, C. C. **Striated muscle cytoarchitecture**: an intricate web of form and function. *Annual review of cell and developmental biology*. v.18, p. 637–706, 2002.
- HERRMANN, H.; BÄR, H.; KREPLAK, L.; STRELKOV, S.V.; AEBI, U. **Intermediate filaments**: from cell architecture to nanomechanics. *Nature reviews molecular cell biology*. v. 8, p. 562-573, 2007.
- HAMILL, J. KNUTZEN, K.M. **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. 1ª Edição. Barueri: Manole, 2012.
- KJÆR, M.; KROGSGAARD, M.; MAGNUSSEN, P.; ENGBRETTSEN, L.; ROOS, H.; TAKALA, T.; WOO, S. L-Y. **Textbook of sports medicine**. Basic science and clinical aspects of sports injury and physical activity. Blackwell Science LTD, Oxford, 2003.
- KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. 2º Edition. New York: Springer, 2007.
- NORDIM M., FRANKEL, V.H. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético**. 3º Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
-

# 4

## **Sistema Ósseo e o Movimento**

## 4.1 Composição e Estrutura do Tecido Ósseo

O osso é um tecido conjuntivo altamente especializado, sendo composto por colágeno tipo I, células (osteócitos), e uma substância fundamental rica em sais minerais. As proteoglicanas da substância fundamental contêm glicoproteínas como a osteocalcina, a qual se liga fortemente aos sais minerais ricos em cálcio e fósforo, como a hidroxiapatita.

As epífises são as extremidades do osso, apresentam forma dilatada, e a diáfise é um “tubo” que une as epífises.

A superfície do osso é formada por tecido ósseo com cavidades muito pequenas, sendo que a maioria não é visível a olho nu e o aspecto muito compacto desta camada lhe dá o nome de osso compacto. É um tecido muito resistente à tensão e torção e a choques mecânicos.

A superfície da articulação não é revestida por tecido ósseo, mas por cartilagem hialina localizada sobre uma fina camada de osso compacto.

No interior o osso possui: uma região central sem osso situada na diáfise denominada canal medular, cujo interior é ocupado *in vivo* pela medula óssea; uma região de tecido ósseo formada por milhares ou milhões de pequenas traves, pontes ou tabiques, os quais estão organizados de modo tridimensional denominada osso esponjoso. A disposição das traves ósseas ocorre segundo as linhas de força que atuam nesta região, tornando o osso esponjoso bastante resistente e leve.

O osso cortical é formado por lâminas ósseas paralelas e próximas entre si, formando uma substância rígida e compacta que proporciona resistência ao osso.

O osso trabecular, é formado por lâminas ósseas dispostas de forma irregular deixando espaços livres entre si, ocupados pela medula óssea.

Quanto à característica celular os osteoblastos são as células que produzem matriz óssea, que se deposita em torno da própria célula. Depois de serem totalmente envolvidos pela matriz, ficam incorporados nela e passam a ser denominadas de osteócitos. Este é um dos mecanismos de crescimento do osso denominado de aposição, semelhante ao que é encontrado nas peças cartilaginosas quando condroblastos secretam matriz cartilaginosa. Considera-se que há na superfície do osso células denominadas osteoprogenitoras que servem como células-tronco do tecido ósseo.

O terceiro tipo de célula do tecido ósseo é denominado osteoclasto. Esta célula é multinucleada e se forma pela fusão de macrófagos. Ela se situa sempre

na superfície do osso e tem a função de destruir a matriz do tecido ósseo e promover sua reabsorção. Desta maneira, o tecido ósseo tem células que produzem matriz (osteoblastos), células que mantêm a matriz (osteócitos) e células que reabsorvem o tecido ósseo (osteoclastos), de modo que, em situação de normalidade, há um equilíbrio que mantém em condições adequadas a quantidade e a organização do tecido ósseo. Modificações de forças que agem sobre o osso provocam reabsorção e neoformação de trabéculas ósseas em diferentes posições, visando obter sempre uma situação em que o osso atenda às necessidades do organismo.

O tecido ósseo secundário, maduro ou lamelar e não lamelar apresentam características importantes e distintas. No osso maduro, os osteócitos, estão organizados e ocupam camadas bastante distintas.

A diferença principal entre tecido ósseo lamelar e não lamelar está na disposição de suas fibras colágenas. No tecido ósseo primário, imaturo ou não lamelar, as fibras colágenas estão dispostas em todas as direções, sem nenhuma organização. Já no osso secundário, maduro ou lamelar, as fibras colágenas desta lamela estão organizadas de modo paralelo entre si, o que promove maior sustentação ao osso.

O osso lamelar pode ser comparado à madeira compensada, na qual cada camada possui fibras (de celulose) dispostas em ângulo reto em relação à camada vizinha. Cada lamela óssea pode ter de 3 a 7 micrômetros de espessura e contém muitos osteócitos ao longo de sua extensão, mas frequentemente só um na sua espessura.

No seu exterior, o osso é revestido pelo perióstio e o interior, o canal medular, é revestido por uma camada de osteoblastos denominada endóstio.

## 4.2 Morfologia Óssea Relacionada ao Movimento

Os ossos geram sustentação rígida ao corpo e proporcionam um sistema de alavancas aos músculos; além disso, apresentam uma característica adaptativa ao estresse dinâmico. Os osteoblastos sintetizam constantemente substância fundamental e colágeno, além de contribuírem para o depósito de sais minerais. O remodelamento ocorre em resposta às forças aplicadas pela atividade física e às influências hormonais que regulam o equilíbrio sistêmico de cálcio. A remoção

de osso é promovida pelos osteoclastos, os quais contribuem para a remodelagem óssea. Os fibroblastos primitivos, essenciais para o reparo de ossos fraturados, são originários do periósteo, do endósteo e de tecidos perivasculares.

O osso demonstra sua maior força quando comprimido pelo eixo longo de sua haste, entretanto suas extremidades recebem forças compressivas multidirecionais por meio das superfícies de sustentação de peso. O estresse nestas áreas é dissipado pelo osso subcondral subjacente e então pela rede de osso esponjoso, que, por sua vez, atua como uma série de apoios para redirecionar as forças pelo eixo longo do osso compacto. Esse arranjo estrutural redireciona as forças, de modo a absorver e retransmiti-las aos demais segmentos do corpo.

### 4.3 Crescimento e Desenvolvimento Ósseo

O crescimento e desenvolvimento ósseo acontece de duas formas, sendo a primeira um crescimento em diâmetro e a segunda um crescimento em comprimento.

O crescimento em diâmetro de diáfises ocorre de várias formas, como: por multiplicação de células-fonte, sobreposição de osteoblastos ao osso já existente, secreção de matriz óssea, mineralização da matriz, captura dos osteoblastos no interior de lacunas e sua transformação em osteócitos.

O crescimento em comprimento de diáfises acontece: osteoblastos derivados de células-fonte se apoiam sobre matriz extracelular cartilaginosa a qual serve de modelo para a ossificação. Os osteoblastos produzem matriz óssea, que é secretada e depositada sobre a matriz de cartilagem.

### 4.4 Respostas Ósseas ao Estresse

Ao contrário do músculo, as cargas primárias experimentadas pela maioria dos ossos são de compressão.

A força do osso depende fortemente de sua densidade de depósitos minerais e fibras colágenas, e está relacionada com os hábitos alimentares e de atividade física. O carregamento dos ossos em atividade física resulta em maior atividade dos osteoblastos, que aumenta a densidade óssea.

A imobilização ou inatividade irá resultar em reduções drásticas na densidade óssea, rigidez e resistência mecânica.

A um cientista alemão (Julius Wolff (1839 – 1902) é creditada a descoberta de que os ossos remodelam de acordo com a tensão mecânica que ele recebe, ou seja, ocorre a formação de osso na presença de estresse e a reabsorção na sua ausência). Esse fenômeno é chamado Lei de Wolff.



## LEITURA

Acesso sugerido:

<http://www.icb.usp.br/mol/7-42-discoepif-6-Kossa.html>

---



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. 2ª Edition. New York: Springer, 2007.

NEUMAN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

SACCO, I.C.N., TANAKA, C. **Cinesiologia e Biomecânica dos Complexos Articulares**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

---



# 5

## **Sistema Articular Aplicado ao Movimento**

## 5.1 Classificação das Articulações Relacionadas ao Estudo do Movimento

A articulação é a junção entre dois ou mais ossos que permite a rotação de articulações individuais para o movimento, transferindo e dissipando a força produzida pela contração muscular e pela força da gravidade.

Assim, a artrologia, é a ciência que estuda a classificação, estrutura e função das articulações no movimento humano tanto em doenças quanto no envelhecimento.

As articulações são classificadas em: sinartrose e diartrose. As articulações sinartrosiais permitem quase nenhum movimento articular devido à forte camada de tecido conjuntivo fibroso e cartilaginoso, mantendo uma ligação firme e transmissão de força entre esses ossos. Elas são subdivididas em art. fibrosas pela alta concentração de colágeno, ex. suturas do crânio, articulação tibiofibular distal (sindesmose), membrana interóssea radioulnar; e art. cartilaginosas uma combinação entre colágeno com fibrocartilagem, encontradas na sínfise púbica, manúbrio esternal e articulação entre os corpos vertebrais.

As articulações diartroses são cavidades sinoviais preenchido por fluido, permitindo movimentos mais amplos. Ex.: art. glenoumeral, joelho, tornozelo. Para que ocorra um movimento harmônico, são necessários alguns outros elementos, como a cartilagem articular para revestimento ósseo, envolvida por uma cápsula articular externa (fibroso) e interna (sinovial), essa especializada na produção de fluido sinovial (plasma, ac. hialurônico e glicoproteínas), reduzindo o atrito articular e nutrindo a cartilagem articular.

As articulações sinoviais são classificadas fazendo analogia a objetos familiares. A primeira dela é art. em dobradiça caracterizada pela art. úmeroulnar e interfalangeana e permite a flexo-extensão somente. A art. em pivô é quando uma articulação é orientada paralelamente ao eixo de rotação, ex. art. atlantoaxial e radioulnar proximal. A art. elipsoide é formada por uma estrutura convexa e por outra côncava, permitindo dois graus de movimento flexo-extensão e adução e abdução, ex. art. radiocárpica. A art. esferoidea apresenta uma relação convexa pareada com uma superfície côncava, permitindo movimento em três planos. Ex.: quadril e glenoumeral. A art. plana é formada por ossos achatados que deslizam e rodam uns sobre os outros, ex. art. intercárpicas e intertársica e carpometacárpica do IV e V dedos. A art. em sela é formada por uma superfície

côncava e uma convexa, permite movimento em dois planos, ex. carpometacárpica do polegar. Art. condiloides apresentam uma superfície óssea côncava bem rasa, permite dois graus de liberdade, porque o terceiro grau de movimento é impedido pelos ligamentos. Ex. Joelho.

## 5.2 Comportamento Mecânico dos Componentes Articulares

A função dessas estruturas é de fornecer suporte estrutural e funcional.

Histologicamente, as estruturas articulares são formadas a partir de fibroblastos. Já a cartilagem hialina e fibrocartilagem são derivados de condrócitos para reparo e manutenção. Em tecidos envelhecidos ou lesionados, os condrócitos removem e reparam a estrutura, porém, como as células estão dispersas e com redução do suprimento sanguíneo, a cicatrização pode estar incompleta.

As proteínas fibrosas, como colágeno e elastina, estão presentes nas articulações. O colágeno é o mais abundante no corpo, sendo dividido em tipo I, que são fibras espessas, forte e rígidas, formam ligamentos, tendões, fâscias e cápsula articular fibrosa, e tipo II, que são fibras mais finas, com pouca força tênsil e dão formato e consistência a estruturas mais complexas, como a cartilagem hialina. As elastinas são proteínas que se entrelaçam, formando uma rede. Essas proteínas apresentam a capacidade de se alongar e retornar ao tamanho original e estão presentes na cartilagem hialina e no ligamento amarelo, permitindo a inclinação anterior e o retorno à posição da coluna vertebral.

Vasos sanguíneos adentram a cápsula articular entre a camada fibrosa e a membrana sinovial. Nervos sensoriais (dor e propriocepção) inervam a camada externa da cápsula e ligamentos.

Devido ao formato e à necessidade funcional das articulações, lábaro periférico, discos articulares e meniscos formados por coxim fibrocartilaginoso se localizam entre as superfícies articulares, aumentando a área de contato entre as superfícies ósseas e dissipando a força. Coxins de tecido adiposo aumentam a espessura da cápsula articular, preenchendo espaços não articulares, porém reduzem o fluido sinovial. Em situações patológicas, esses coxins afetam a mecânica articular.

Bolsas sinoviais são extensões da membrana sinovial preenchida por fluido sinovial que aparecem em situações de estresse. Essas bolsas ajudam na absorção de força e proteção de tecidos conjuntivos periarticular (ligamentos), inclusive os ossos.

## 5.3 Flexibilidade e Estabilidade das Articulações Sinoviais

A amplitude passiva de um movimento articular depende primariamente da estrutura e da função do osso, do músculo e do tecido conectivo.

O colágeno é a proteína mais abundante no corpo, sendo dividido em tipo I, que são fibras espessas, forte e rígidas, formam ligamentos, tendões, fâscias e cápsula articular fibrosa. O colágeno tipo II são fibras mais finas, com pouca força tênsil e dão formato e consistência a estruturas mais complexas, como a cartilagem hialina. A mobilização reduz as pontes cruzadas, aumentando a taxa de renovação do colágeno. O colágeno envelhece por mudanças físicas e bioquímicas, reduzindo a extensibilidade e aumentando a rigidez.

A elastina é uma proteína que se entrelaça, formando uma rede. Essas proteínas apresentam a capacidade de se alongar e retornar ao tamanho original e estão presente na cartilagem hialina e ligamento amarelo, permitindo a inclinação anterior e o retorno à posição da coluna vertebral. As fibras elásticas podem ser alongadas até aproximadamente 150% de seu comprimento original. Com o envelhecimento, elas perdem a sua elasticidade, aumentam a sua rigidez e sofrem várias alterações.

Os ligamentos são tecidos conjuntivos que impedem a movimentação excessiva da articulação. São divididos em ligamentos capsulares, camada ampla de fibras que resistem ao movimento em dois e três planos. Os ligamentos extracapsulares são cordões de tecido conjuntivo parcial ou totalmente separado da cápsula articular, orientados de maneira a oferecer uma resistência em um ou dois planos.

Bolsas sinoviais são extensões da membrana sinovial preenchidas por fluido sinovial que aparecem em situações de estresse. Essas bolsas ajudam na absorção de força e proteção de tecidos conjuntivos periarticular (ligamentos), inclusive os ossos.

Devido ao formato e à necessidade funcional das articulações, labro periférico, discos articulares e meniscos formados por coxim fibrocartilagenoso se localizam entre as superfícies articulares, aumentando a área de contato entre as superfícies ósseas e dissipando a força. Coxins de tecido adiposo aumentam a espessura da cápsula articular, preenchendo espaços não articulares, porém reduzem o fluido sinovial. Em situações patológicas, esses coxins afetam a mecânica articular.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAMILL, J., KNUTZEN, K.M. **Bases biomências do movimento humano**. 1ª Edição. Barueri:Manole, 2012.

KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. 2º Edition. New York: Springer, 2007.

NEUMAN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

---



# 6

## **Cinesiologia e Biomecânica da Coluna Vertebral, dos Membros Superiores e Inferiores**

## 6.1 Coluna Vertebral

A coluna vertebral consiste em conjunto de 33 vértebras dividido em 7 vértebras cervicais, 12 torácicas, 5 lombares, 5 sacrais e 4 coccígeas. A estrutura geral das vértebras é de um corpo e arco, incluindo forame intervertebral, lâmina, processos transversos, articulares, espinhosos e discos intervertebrais.

### 6.1.1 Artrocinemática e Osteocinemática da Coluna Vertebral

A coluna vertebral apresenta duas curvaturas fisiológicas: cifótica (na região torácica e sacrococcígeas) e lordose (na região cervical e lombar). Ambas as curvaturas se modificam durante os movimentos de flexão e extensão do tronco.

A coluna vertebral fornece estabilidade ao tronco e pescoço, além de proteger a medula espinal, raízes nervosas. A coluna é capaz de suportar grandes compressões de maneira estática.

A coluna vertebral é sustentada por um extenso conjunto de ligamentos que limitam os movimentos, ajudam a manter as curvaturas fisiológicas, estabilizam a coluna, protegem a medula e as raízes espinais. Esses ligamentos apresentam composições variáveis de tecido conjuntivos, dependendo da região, fornecendo resistência e elasticidade diferentes. Esses ligamentos são compostos basicamente de colágeno e elastina.

O ligamento amarelo é mais espesso na coluna lombar, devido a maior flexão intervertebral; é maior do que em outra região da coluna vertebral, protegendo a face anterior do disco intervertebral contra as forças compressivas que danificam o disco durante o movimento. Este ligamento também cria uma força de compressão pequena e constante para impedir que ocorra a invaginação durante a extensão da coluna.

O ligamento interespinhoso preenche os espaços articulares adjacentes, sendo compostos de maior quantidade de colágeno e orientado de forma diferente para cada região. Por exemplo, na coluna lombar, são dispostos na direção oblíqua pósterocranial, sendo mais rígidas nas regiões extremas da flexão. Os ligamentos supraespinhosos fixam nas pontas dos processos espinhosos, sendo compostos de maior quantidade de colágeno, e também limitam a flexão extrema.

Os ligamentos intertransversos são mais delgados e se estendem entre os processos transversos adjacentes. Eles se tornam rígidos durante a inclinação lateral contralateral, em menor grau durante a flexão anterior.

O ligamento longitudinal anterior longo e forte que se estende do processo basilar do occipital, corpo vertebral até o sacro reforça a face anterior do corpo vertebral e ajuda a limitar a extensão cervical e lombar e contribui para limitar a lordose fisiológica. O ligamento longitudinal posterior que se estende posteriormente do corpo vertebral, do áxis até o sacro está localizado dentro do canal vertebral e anterior à medula espinal. A porção lombar é mais delgada e limita a capacidade de conter uma herniação discal. Tensão aumenta com a flexão.

Os ligamentos capsulares interapofisários são fortes e impedem os movimentos extremos da coluna, incluindo movimentos translação ou separação das superfícies articulares.

O disco intervertebral é composto por um anel fibroso, centralmente preenchido por núcleo pulposo, um gel contendo 80% de água; e dois platôs cartilagem hialínica que separa o núcleo pulposo do corpo vertebral. A sustentação do peso corporal passa do corpo vertebral para o disco intervertebral, que distribui a força pelo núcleo pulposo para todas as direções do anel fibroso. Se a força é central, como ocorre ao carregar um peso sobre a cabeça, ocorre compressão que abaulará o ânulo fibroso em todas as direções. Quando a força ocorre fora do eixo central do disco, o núcleo exerce uma pressão oposta no anel fibroso, tornando-se estreito na frente e estirado posteriormente.

O núcleo pulposo é aquoso, hidrofílico e vascularizado. Durante o dia, mudanças na altura do indivíduo pode chegar em 2 cm, devido à perda de água durante o dia. Com a idade, a capacidade de reabsorver água diminui. Microtraumas e envelhecimento podem causar danos ao disco intervertebral.

Na flexão e extensão da art. atlanto-occipital, ocorre uma combinação de rolamento no mesmo sentido do movimento e deslizamento para o sentido oposto. Na art. atlantoaxial, ocorre uma inclinação para mesmo sentido do movimento, enquanto na art. de C2-C7, ocorre somente o deslizamento no mesmo sentido do movimento. Nos movimentos de rotação, a art. atlanto-occipital são desprezíveis, enquanto na art. atlantoaxial, ocorre uma rotação do áxis com um deslizamento no mesmo sentido da vértebra acima, o atlas. Nas vértebras C2-C7, ocorre uma combinação de deslizamento no mesmo sentido da rotação. Na flexão lateral da art. atlanto-occipital ocorre um movimento de rolagem e deslizamento do crânio sobre o atlas, afastando o processo mastoide contralateral. Na região de C2-C7, ocorre o deslizamento das vértebras no mesmo sentido da flexão lateral e o afastamento dos processos transversos contralaterais. A presença de ligamentos posicionados nessas estruturas ósseas impede a movimentação excessiva da articulação.

Na flexão e extensão, são permitidos 5° de flexão e 10° de extensão no plano sagital; 5° de flexão e 0° de extensão no plano frontal e rotação axial no plano horizontal é desprezível. Na articulação atlantoaxial ocorrem flexão de 5° e extensão de 10°, rotação axial que combina rotação e deslizamento para o mesmo lado de 35 a 40° e pouco movimento de flexão lateral. Nas articulações de c2-c7 a flexão é de 40°, extensão de 60°, rotação axial e flexão lateral de 35°.

Na região torácica, as superfícies articulares são um pouco oblíquas, mas estão no plano frontal e pode ocorrer a flexão lateral. Porém, os poucos movimentos dessa região são atribuídos pela presença de 10 costelas adjacentes que formam a art. costocorpórea e costotransversal, enquanto que na região torácica inferior e junção toracolombar existe maior grau de liberdade.

A região torácica exibe em torno de 45° de cifose fisiológica. São permitidos até 40° de flexão, 25° de extensão. Os extremos da flexão são limitados pelos ligamentos longitudinais e cápsulas das articulações apofisárias, enquanto a extensão excessiva é limitada pelo ligamento longitudinal anterior e o impacto das lâminas e entre os processos espinhosos.

A rotação axial da coluna torácica, é de 35°, devido ao movimento de deslizamento da faceta inferior com a faceta superior no mesmo sentido da rotação. Nas regiões inferiores da coluna torácica a rotação é menor.

A flexão lateral da coluna torácica é de 35° para ambos os lados. Para o movimento, a faceta inferior da vértebra superior desliza superiormente sobre a faceta superior da vértebra inferior contralateral e desliza inferiormente do mesmo lado do movimento. Nesse movimento, ocorre deslizamento superior com afastamento dos processos espinhosos vértebras superiores sendo limitados pelos ligamentos supra e interespinhosos e longitudinal posterior.

Na região lombar de L1-L4, a flexão ocorre devido à combinação de deslizamento superior das articulações de uma vértebra sobre a outra, devido ao movimento de deslizamento das vértebras adjacentes, com aumento da tensão nos ligamentos inter e supraespinhosos e longitudinal posterior. O grau de flexão da coluna lombar afeta significativamente o disco intervertebral. A flexão prolongada da lombar aumenta a força de compressão na região anterior do disco fazendo que o núcleo pulposo migre posteriormente, podendo haver prolapsos ou herniações discais.

A extensão lombar permite entre 15 e 20° de movimento, o que aumenta a lordose fisiológica. A extensão lombar é combinada com extensão de quadril, é alcançada pelo estiramento dos músculos do flexores de quadril e ligamentos

capsulares do quadril, promovendo uma lordose lombar. Na extensão ocorre um deslizamento inferior e posterior da faceta articular inferior em relação à faceta articular superior da vértebra adjacente. Em casos de hiperlordose lombar, há aumento do contato das facetas articulares, o que pode gerar um estresse nas regiões adjacentes, podendo comprimir ligamentos interespinosos, gerando dores lombares.

A extensão também afeta negativamente o disco e deforma o núcleo pulposo na direção anterior, visto que ocorre uma redução dos forames intervertebrais e pode comprimir as raízes nervosas, levando a fraqueza e alteração de sensibilidade das extremidades. Uma extensão completa ajuda a reduzir a pressão de contato entre o núcleo herniado e a raiz nervosa. Manobras de extensão lombar e correções posturais ajudam a aliviar a sintomatologia de dores lombares.

A flexão e extensão da coluna lombar ocorre também por ajustes da pelve em relação ao fêmur fixo durante os movimentos ou quando se pega objetos do chão. Também podem ocorrer ajustes como movimentos de inclinação anterior e posterior da pelve com o tronco fixo.

A rotação axial da coluna lombar tem entre 5 e 7° de liberdade no plano horizontal alcançado pela rotação das outras vértebras, as quais são muito restritas pela orientação relativamente forte das articulações apofisárias das vértebras lombares, ofertando assim uma estabilidade deste segmento. A rotação axial da coluna lombar ocorre pela rotação do quadril e região torácica inferior. Na rotação axial ocorre uma compressão da cartilagem apofisárias contralateral, danificando-as, assim como podem romper-se os ânulos fibrosos.



## CONEXÃO

Assita aos Vídeos:

[https://www.youtube.com/watch?v=RNUpMNd\\_u1U](https://www.youtube.com/watch?v=RNUpMNd_u1U)

<https://www.youtube.com/watch?v=FyBOBjI6A10>

<https://www.youtube.com/watch?v=0qR-Yfw9fOI>

### 6.1.2 Principais Ações Musculares da Coluna Vertebral

Os músculos estão dispostos em camada superficial, intermediária e profunda. Esses músculos são inervados pelos ramos ventrais dos nervos espinais (plexo braquial e nervos intercostais).

Na camada superficial estão o trapézio, latíssimo do dorso, romboide, elevador da escápula e serrátil anterior, todos bilaterais. Quando ativados unilateralmente, promovem rotação axial, ou no caso do trapézio que age na inclinação lateral.

Na camada intermediária do tronco estão o serrátil pósterior superior e inferior e suas funções estão mais relacionadas com a ventilação do que na estabilização. Na camada profunda do tronco, esses músculos são didaticamente classificados em grupo eretor da coluna, transversoespinal e segmentar curto. Os músculos da camada profunda do tronco são inervados pelo ramo dorsal dos nervos espinais das regiões cervical torácica e lombar.

### Grupo muscular eretor espinal

É uma grande massa muscular que preenche o espaço entre os processos espinhosos e transversos das vértebras bilateralmente, estendendo-se por toda a coluna se inserindo em um único tendão na região do sacro. Os músculos eretores da coluna são espinal, longuíssimo e iliocostal. Tem função de rotação axial, extensão e inclinação lateral do tronco.

Os músculos espinais são formados pelo espinal torácico, espinal cervical e espinal da cabeça e ascendem inserindo nos processos espinhosos das vértebras torácicas e cervical, no ligamento nuchal.

Os músculos longuíssimos incluem os longuíssimos torácico, cervical e da cabeça. O longuíssimo torácico se insere nas costelas, o longuíssimo cervical se insere nos processos transversos e o longuíssimo da cabeça se insere no processo mastoide.

Os músculos iliocostais incluem os músculos da região lombar e torácica, provindo de um tendão comum e inserindo-se nas costelas médias e superiores, respectivamente. A partir deste ponto, o iliocostal cervical continua cranialmente para se inserir nos tubérculos posteriores dos processos transversos cervicais junto com o longuíssimo da cabeça.

A contração bilateral dos eretores da coluna causa seletivamente a extensão da cabeça, tronco ou pescoço. Devido à inserção desses músculos na pelve, os movimentos podem ocasionar a inclinação anterior da pelve aumentando a lordose lombar. A contração unilateral dos iliocostais promove a flexão lateral do tronco; iliocostal e o longuíssimo cervical auxiliam na rotação contralateral, e os iliocostais lombares auxiliam na rotação lateral ipsilateral.

## Músculos tranversoespinais

Recebem esse nome devido à inserção dos músculos nos processos transversos de uma vértebra para os processos espinhosos de uma vértebra superior. Os músculos são os espinais, multifidos e os rotadores.

Os semiespinais torácicos são finos e inserem-se dos processos transversos de T6-T10 até os processos espinhosos de C6-T4. Os semiespinais cervicais iniciam a partir dos processos transversos das torácicas superiores e inserem em C2-C5. Como inserem nos processos transversos proeminentes do axis que ofertam grande estabilidade para os músculos suboccipitais.

Os músculos semiespinais da cabeça e cervical são músculos que atravessam a região do pescoço, e se espessam na inserção do osso occipital, nas regiões da linha nugal. Esses músculos promovem grande torque extensor craniocervical.

Os multifidos iniciam no processo transversos de uma vértebra e se inserem nos processos espinhosos de duas ou quatro vértebras acima. Dessa forma, preenchem os espaços entre os processos espinhosos e transversos, gerando grande torque de extensão e excelente estabilizador da coluna, cerca de dois terços desta região.

Os rotadores são os músculos mais profundos existentes em toda a coluna, chamados de rotadores longos e curtos, porém são mais desenvolvidos na região torácica. Cada fibra muscular insere-se entre os processos transversos e espinhosos, lâmina de uma vértebra localizada a uma ou duas junções intervertebrais acima.

A contração bilateral desses músculos causa a extensão do esqueleto axial, podendo acentuar a lordose lombar e cervical e diminuir a cifose torácica. A contração unilateral causa a inclinação lateral do tronco e rotação axial devido à posição oblíqua das fibras. Como os músculos são pequenos e orientados mais verticalmente do que horizontalmente, torque extensor é maior do que a rotação axial.

## Grupo segmentar curto

Recebem esse nome devido ao fato de serem extremamente curtos e cruzarem apenas uma junção intervertebral, sendo assim um grupo segmentado. São formados pelos músculos interespinal e intertransversal, sendo responsáveis pelo controle fino da cabeça e pescoço. São músculos bilaterais, sendo os interespinais responsáveis pela extensão da coluna, devido à disposição das fibras.

Cada músculo intertransversal está localizado nos processos transversos adjacentes e se divide em anterior e posterior, pelos quais passa o ramo ventral dos nervos espinais. A contração unilateral proporciona uma magnitude pequena de flexão lateral da coluna, porém o torque desses músculos é excelentes fonte de estabilidade intervertebral.

## Grupo anterolateral do tronco

São formados pelos músculos reto abdominal, transverso abdominal e oblíquos externo e interno. São músculos largos e planos que apresentam várias funções fisiológicas importantes, como o suporte e proteção das vísceras, além de contribuírem para as pressões intratorácicas e intra-abdominais importantes em várias funções. Os músculos abdominais estão envolvidos por uma densa camada de tecido conjuntivo que forma a linha alba, que se estende pelo processo xifoide, sínfise púbica e crista ilíaca, conferindo aumento de resistência. Além disso, auxiliam na transferência de força da linha mediana para os músculos transversais e oblíquos de ambos os lados.

A contração bilateral dos músculos reto e oblíquos do abdome aproxima o processo xifoide da sínfise púbica, flexiona o tórax e a coluna lombar, inclina posteriormente a pelve, levando em conta o segmento fixo e o segmento a ser movido.

A contração unilateral dos músculos do abdome promove a inclinação lateral do tronco, em grande parte pela vantagem biomecânica dos músculos oblíquos do abdome, associada à participação dos músculos extensores da coluna tanto na inclinação lateral quanto na estabilidade do tronco no plano sagital. Esses músculos também apresentam grande torque rotador axial do tronco, sendo o oblíquo externo rotador contralateral e o oblíquo interno rotador ipsilateral, aproximando o ombro da crista ilíaca contralateral.

Já a função do músculo transverso do abdome ainda é incerta, porém é possível que exerça maior função estabilizadora para os outros músculos do abdome do que geradora de torque. Também a contração bilateral desse músculo estabiliza a costela, linha e a região toracolombar.

## Músculos adicionais da coluna

O iliopsoas é formado pelo m. íliaco e é um flexor de quadril, innervado pelo n. femoral. Insere-se proximalmente na fossa ilíaca e anterior e superior ao sacro próximo à articulação sacrílica. O psoas maior origina-se nas vértebras e dis-

cos de T12 a L5, e, ao atravessar a região do ligamento inguinal, os dois músculos se fundem em único tendão, inserindo, no trocânter menor do fêmur.

O m. iliopsoas exerce função na coluna lombar, na junção lombosacral e na articulação do quadril. Ao cruzar a frente do quadril, o iliopsoas age levando o fêmur em direção à pelve e da pelve em direção ao fêmur, acentuando a lordose lombar, assim torna-se um flexor de tronco e quadril.

O psoas maior possui alavanca para a flexão da coluna lombar, porém não é considerado um flexor dominante, quanto menos um extensor da coluna lombar, porém apresenta grande função de estabilizador vertical da curva fisiológica de lordose.

O outro músculo adicional é o quadrado lombar, que se insere no ligamento iliolumbar e crista ilíaca e superiormente na décima segunda costela e nos processos transversos L1-L4, sendo inervado pelo ramo ventral dos nervos espinais de T12-L3.

Exerce importante papel de suspensão do quadril durante a fase de balanço e oscilação do pé, principalmente em pacientes assistidos com muletas.

A função geral desses músculos é oferecer estabilidade do esqueleto axial, inclusive ao tronco junto com outras estruturas, como os ligamentos e tecidos conjuntivos. Isso assegura, que mesmo diante de estímulos desestabilizadores, esses músculos e ligamentos ajudam a manter a posição do tronco quase que estáticas. Assim, os músculos intrínsecos formados pelos grupos transverso espinal e segmentar curto, os músculos extrínsecos formados pelos grupos anterolateral e os músculos adicionais do tronco fornecem a estabilização do tronco.

## Músculos da Região Crânio-cervical

Os músculos da região crânio-cervical da porção anterolateral são os esternocleidomastoideo, os escalenos anterior, posterior e medial, longo do pescoço e da cabeça e os retos anterior e lateral da cabeça. Todos os músculos anterolaterais da região crâniocervical são inervados pelos pequenos nervos do ramo ventral do plexo braquial, exceto o esternocleidomastoideo, que é inervado pelo nervo espinal acessório

O esternocleidomastoideo apresenta a cabeça esternal, mais medial e a clavicular, mais lateral e ambas se inserem no processo mastoide do osso temporal e metade da linha nugal superior.

Em contração unilateral, age com um inclinador lateral e rotador axial contralateral, ao passo que a contração de ambos os músculos pode flexionar ou estender a região crâniocervical.

Os escalenos estão localizados entre os processos transversos cervicais mediais e inferiores e nas duas primeiras costelas, formando um triângulo com três lados diferentes.

Como estão inseridos nas costelas superiores, estes músculos são considerados acessórios da respiração quando a coluna está estabilizada.

O contrário ocorre visto que nas duas primeiras costelas estabilizadas, os escalenos movem a coluna cervical, fazendo a inclinação lateral e rotação axial dependendo da posição em que a região se encontra. Na contração bilateral, os escalenos anterior e médio têm função de flexor cervical, embora estejam relacionados mais com a ventilação e com a estabilidade bilateral e vertical para a coluna cervical.

## Grupos da Parte Posterior Crâniocervical

Os músculos dessa região são formados pelos músculos esplênios (da cabeça e da cervical), sendo responsáveis pela extensão da região crânio-cervical superior na contração bilateral; e flexão lateral e rotação axial ipsilateral da cabeça e cervical.

Esses músculos que cruzam a região crânio-cervical compõe a grande massa muscular para o volume do pescoço, que, quando ativada, fornece um excelente meio de proteção dos órgãos, vasos sanguíneos, disco intervertebral, articulações e o tecido neural. Também oferece uma fonte primária de estabilização crânio-cervical, especialmente obtida pelos músculos curtos e segmentados, mas que é aumentada pela interação de outros músculos.

## 6.2 Membros Superiores

Os membros superiores são um conjunto de quatro articulações envolvendo o esterno, a clavícula, as costelas, a escápula e o úmero. No complexo do ombro, os músculos trabalham em conjunto para produzir ações coordenadas que são expressas por múltiplas articulações.

O esterno é formado pelo manúbrio, que se articula com as clavículas, corpo e processo xifoide.

A clavícula apresenta uma curvatura convexa e côncava, sendo que extremidades esternal articula-se com o esterno; e acromial que se articula com a face acromial da escápula.

A escápula possui um formato triangular, sendo dividida em duas fossas supra e infraespinal separadas pela espinha da escápula, que é elevada e se achata para formar o acrômio, estrutura anterior e lateral que está sobre a cavidade glenoide e se comunica com a extremidade distal para formar a art. acromioclavicular. A escápula contém a cavidade glenoide, relativamente côncava, que se articula com a cabeça umeral, com uma inclinação de  $4^\circ$  no plano horizontal do corpo escapular.

A cabeça umeral apresenta apenas metade de sua esfera em contato com a cavidade glenoide, com um ângulo de inclinação de  $135^\circ$  com a epífise do úmero, e com uma retroversão da cabeça umeral em relação ao cotovelo de  $30^\circ$ , sendo evidenciados em membros dominantes de lançadores de beisebol. O colo anatômico é o ponto que separa a cabeça da epífise, sendo evidenciadas saliências chamadas de tubérculos maior e menor, ponto de inserções de músculos do manquito rotador. As cristas se estendem distalmente do lado anterior desses tubérculos, e recebem inserções do peitoral maior e do redondo maior; e entre as cristas está o sulco bicipital abrigando o tendão da cabeça longa do bíceps braquial. Outra consideração importante: o sulco do nervo radial, o qual o úmero apresenta uma espiralação para o caminho do nervo radial.

A art. esternoclavicular (EC) é o ponto de união do esqueleto apendicular com o esqueleto axial, com grande amplitude de movimento e tecidos conectivos periarticulares. Os tecidos periarticulares são formados por ligamentos esternoclaviculares (anterior e posterior), que, associados com os mm. esternocleidomastoideo, esternotireoideo e subclávio, aumentam a estabilidade da articulação. O ligamento interclavicular fica entre as extremidades mediais direita e esquerda. O ligamento costoclavicular é forte e se estende da cartilagem da primeira costela até a superfície inferior da clavícula. São formados por dois feixes de fibras que ajudam a estabilizar a articulação em todos os movimentos da clavícula, exceto a depressão. A art. EC contém um disco fibrocartilaginoso que mantém conectada a face clavicular, na extremidade esternal da clavícula, o ligamento interclavicular e com a cápsula interna, ajudando na absorção de choque por aumento da área de contato. São articulações extremamente estáveis, visto que, antes de serem luxadas, são fraturadas no nível clavicular, em atividades de contato ou em acidentes de trânsito.

Possui três níveis de liberdades com cada nível correspondente a um plano. Os movimentos de elevação e depressão ocorrem em torno de  $45^\circ$  no plano frontal, os quais produzem um movimento similar na escápula. Na elevação da clavícula, ocorre um movimento de rolamento superior e deslizamento inferior, que é limitado pelo ligamento costoclavicular. A depressão ocorre pelo rolamento inferior e deslizamento superior, sendo limitado pelos ligamentos capsulares e interclavicular. Os movimentos de protração e retração ocorrem paralelos ao plano horizontal, com até  $30^\circ$  de liberdade. A retração ocorre pelo rolamento da superfície côncava da clavícula e deslizamento posterior do esterno. Na protração ocorre similarmente a retração, porém como movimento anterior. O terceiro nível de movimento é a rotação da clavícula, que acontece durante a flexão e a abdução de ombro, rolando cerca de  $20$  a  $35^\circ$  posteriormente, combinado pelo giro da superfície esternal.

A articulação acromioclavicular (AC) está alinhadas por um disco articular fibrocartilaginoso completo e incompleto. Nessa articulação ocorrem movimentos sutis entre a escápula e a extremidade distal da clavícula que aperfeiçoam a mobilidade com o tórax. São rodeadas por cápsulas e ligamentos superior e inferior e reforçadas pelos mm. deltoide e trapézio. O ligamento coracoclavicular dá estabilidade extrínseca à articulação formando pelo lig. trapezoide e conoide, sendo similares em comprimento e absorve maior parte da energia dos que outros ligamentos do ombro e mantém a suspensão da escápula.

Possui três graus de liberdade. Os movimentos são de  $30^\circ$  de rotação para cima e ocorrem durante a abdução e flexão de ombro. Na rotação para baixo ocorrem durante os movimentos adução e extensão de ombro. As rotações ocorrem dentro do plano escapular. Durante os movimentos do ombro, na extremidade distal da clavícula ocorrem movimentos de ajustes rotacionais nos planos horizontal, sendo evidenciados pela borda medial da escápula gira para fora, chamados de rotação interna e externa. Os ajustes no plano sagital ocorrem no eixo medial-lateral, fazendo com que o ângulo inferior da escápula gire para fora ou em direção à superfície do tórax. Os movimentos são chamados de inclinação anterior e posterior. Sem esses ajustes rotacionais, os movimentos do membro superior seriam limitados.

A art. escapulotorácica não é uma articulação verdadeira, não havendo contato entre as estruturas ósseas, sendo separadas por um conjunto muscular, os quais reduzem o cisalhamento nos movimentos. A amplitude de movimento dessa articulação varia de  $10^\circ$  na inclinação anterior,  $5$  a  $10^\circ$  rotação para cima e  $35^\circ$  de rotação interna, contribuindo grandiosamente para o alcance dos movimentos de ombro.

Os movimentos da art. escapulotorácica acontecem pela cooperação das art. AC e EC. Na elevação e depressão dessa articulação, ocorre uma rotação para baixo da escápula na art. AC que faz que a escápula fique em posição vertical durante a elevação, enquanto que, na rotação para cima da escápula na art. AC, a escápula tende a ficar horizontalizada. Os ajustes adicionais na art. AC nivelam a escápula com a curvatura do tórax. A protração da escápula ocorre por meio das rotações, podendo ser amplificada pelos ajustes da art. AC e EC. A retração ocorre de forma inversa à protração, em que a escápula vai em direção à coluna durante os atos de puxar uma polia, subir em uma corda.

A rotação para cima da escapulotorácica combina movimentos de abdução de ombro, com posição estável da cabeça umeral na cavidade glenóide, que é alcançada pela ação de elevação da clavícula na art. EC e rotação escapular para cima da art. AC, contribuindo para os 60° da art. escapulotorácica. Na rotação para baixo, o braço retorna à posição original, com depressão da art. EC e rotação para baixo da escápula na art. AC. A art. glenoumeral (GU) é uma articulação esferoide entre a cabeça convexa do úmero e a concavidade rasa da fossa glenoidal forrada por cartilagem articular. Além disso está envolvida por um conjunto de cápsula fibrosa, enquanto que a membrana sinovial forma a parede interna da cápsula e contorna o tendão do bíceps braquial na fenda intertubercular. As camadas externas da parede inferior e anterior da cápsula são formadas por ligamentos glenoumerais ricas em fibras colágenas e são divididas em superior, médio e inferior, espiralando-se em torno da articulação, limitando os extremos dos movimentos de adução, abdução e rotação externa. Esses ligamentos também contribuem para manter a pressão negativa da art. GU, evitando a subluxação inferior da cabeça do úmero. A bolsa axilar também ajuda a manter a cabeça umeral suspensa, contribuindo para impedir os extremos de rotação interna e externa, durante atividades de arremesso no beisebol. O ligamento coracoumeral também oferece um fortalecimento à cápsula superior e ao tendão do supraespal, que é tensionada durante a abdução de ombro, resistindo à translação inferior e à rotação externa do úmero.

Apesar de conter uma extensa camada de ligamentos e cápsula fibrosa, art. GU é dependente da força, inervação e do controle dos músculos do manguito rotador (Subescapular, supraespal, infraespal e redondo menor), pois produzem a estabilização dinâmica e proteção da articulação durante as diferentes amplitudes de movimentos. Os tendões desses músculos se fundem dentro da cápsula articular, explicando assim a estabilidade mecânica, porém, na região

em que o manguito rotador não está totalmente coberto, o espaço entre os mm. supraespinal e subescapular estão mais propensos a luxações.

O lábio glenoidal é uma extensão da cavidade glenoidal formada por fibrocartilagem que aumenta em 50% a profundidade da cavidade, aumentando a congruência e estabilização.

Na posição estática da art. glenoumeral, cabeça do úmero é comprimida na fossa glenoidal inclinada, devido ao vetor de força resultante da ação dos ligamentos capsular superior, ligamento coracoumeral e o tendão supraespinal. Essa força de compressão articular ajuda a estabilizar, evitando a queda do úmero.

A posição adequada da articulação escapulotorácica é importante meio para manutenção da orientação para cima a cavidade glenoidal. Uma orientação para baixo da cavidade glenoidal devido a fraqueza e paralisia muscular, leva a cabeça do úmero para baixo, ocasionando uma deformação plástica das estruturas ligamentares superiores, podendo desencadear uma subluxação e/ou luxação.

O arco coracoacromial é formado pelo ligamento coracoumeral com o acrómio da escápula, e funciona com um teto da articulação GU contendo um espaço subacromial por onde passam os músculos e o tendão supraespinal, bursa subacromial, a cabeça longa do bíceps braquial e a cápsula superior.

Bursas existem em torno do ombro, aonde as forças friccionais entre os tendões, ossos, cápsula, ligamentos e músculos são maiores. Dentre elas duas se destacam, que são as bursas subacromial e subdeltoidea.

A art. GU permite três graus de liberdade, os quais têm a participação dos movimentos da escapulotorácica, associado aos movimentos da art. AC e EC.

O movimento de abdução do úmero é em torno de  $120^\circ$ , em que a cabeça do úmero rola superiormente e desliza inferiormente, enquanto que na adução o úmero realiza o movimento inverso. Esse mecanismo de rolamento e deslizamento é importante para manter o espaço subacromial normal a fim de evitar a compressão do úmero contra o teto acromial, o tendão supraespinal e irritação da bursa subacromial, evitando sintomas irritativos e inflamatórios da síndrome do impacto subacromial.

A flexão do úmero é em torno de  $120^\circ$ , podendo chegar a  $180^\circ$  com combinação de movimentos de rotação para cima da escapulotorácica. Ocorre um movimento giratório do úmero na cavidade glenoidal e translação anterior do úmero na flexão extrema. A extensão de ombro é de  $65^\circ$  ativo e  $80^\circ$  passivo, movimentos que combinam inclinação anterior da escápula e deslizamento anterior do úmero.

A rotação interna e externa ocorre no plano horizontal através do diâmetro transverso da cabeça umeral e da cavidade glenoidal. Assim o deslizamento e o rolamento das rotações ocorrem em diâmetro transverso maior da cabeça umeral sobre uma pequena superfície da fossa glenoidal. A amplitude de rotação interna é 75 a 85° e a rotação externa é de 60 a 70°, mas pode aumentar em até 90° combinado com a posição da cabeça umeral na cavidade glenoidal durante o movimento de abdução.

Entre os movimentos do ombro, existe um ritmo entre a abdução glenoumeral e a rotação escapulotorácica chamado de ritmo escapulotorácico. Para cada 3° de abdução de ombro, 2° de abdução ocorre na glenoumeral e 1° de rotação para cima ocorre na art. escapulotorácica, sendo assim denominado de 2:1. Assim, no arco de 180° de abdução de ombro, 120° ocorrem na glenoumeral e 60° ocorrem na art. escapulotorácica.

No entanto, 60° de abdução de ombro são proporcionados pela elevação simultânea da clavícula na art. EC e rotação para cima da escápula na art. AC. Nos 180° de abdução de ombro, art. EC se eleva 30°, retrai-se cerca de 15° para ajudar a art. AC a se posicionar a escápula dentro do plano horizontal.

Na abdução de ombro, a escápula inclina posteriormente e roda externamente, sendo dependente da art. AC e EC, preservando o espaço subacromial, limitando a possibilidade de impacto, reduzindo o estresse mecânico na cápsula e nos músculos do manguito rotador.

Outro princípio já foi relatado, a rotação da clavícula da art. EC em torno do seu eixo na abdução de ombro, sendo combinadas forças multiarticulares que são transferidas dos músculos aos ligamentos. Na abdução, a escápula roda para cima na art. AC, tensionando o ligamento coracoclavicular, que, devido à incapacidade de alongar, e a tensão é transferida para o tubérculo conoide da clavícula, fazendo com que a clavícula rode posteriormente, permitindo que a escápula continue seus graus de rotação para cima. Sem esse movimento, a abdução do ombro não seria possível.

## Ações Musculares

Os músculos, por sua vez, apresentam, em duas categorias funcionais: estabilizador proximal, que são os músculos originários da coluna, costelas e crânio e se inserem na clavícula e escápula. E os mobilizadores distais, que se originam na escápula e clavícula e se inserem no úmero e antebraço. Os elevadores da art.

escapulotorácica são mm. trapézio porção ascendente, levantador da escápula e os romboides, mantendo o suporte da posição da cintura escapular levemente inclinada e retraída, com inclinação para cima da cavidade glenoidal e também fornece uma potente alavanca para art. EC.

Os depressores da art. escapulotorácica são a parte descendente do músculo trapézio, peitoral menor agem diretamente na escápula. O m. subclávio age indiretamente, puxando a escápula inferiormente à clavícula, e exerce importante função de estabilização da art. EC. O latíssimo do dorso deprime a cintura escapular de forma indireta e puxa o úmero inferiormente.

O único protrador escapulotorácico é o serrátil anterior, tendo excelente potência de alavanca para a protração escapular quando a art. glenoumeral é utilizada em atividades de empurrar para a frente e alcançar. Nenhum outro músculo pode fornecer protração adequada para a art. escapulotorácica. O serrátil anterior é também flexor de braço quando o membro está em pronação, inclinador posterior da escápula e em menor grau pode rodar externamente a escápula.

Os retratores escapulotorácicos são a parte transversa do trapézio, os romboides e parte descendente do trapézio. São músculos ativos durante o ato de puxar, remar e o montanhismo, fixando a escápula ao tronco. Os romboides tendem a elevar a escápula, porém esta é neutralizada pelas fibras descendentes do trapézio, que deprimem a escápula. A paralisia completa do trapézio reduz a retração da escápula que tende a ficar protrusa.

Os principais abdutores do braço são os músculos deltoide anterior e médio e o supraespinal, porém a elevação do braço fletido é feito pelo deltoide anterior, cabeça longa do bíceps braquial e coracobraquial. Os músculos deltoide médio e supraespinal são similares durante a abdução de ombro e ajudam a estabilizar a cabeça umeral dentro da concavidade formada pela cápsula inferior articular.

Os principais rotadores para cima da art. escapulotorácica são as fibras superiores e inferiores do trapézio e o serrátil anterior e fornecem uma conexão para os mm. mobilizadores distais, como o deltoide e os mm. do manguito rotador.

Para a rotação para cima da escápula, há interação entre os mm. trapézio e o serrátil anterior. As fibras superiores e inferiores e as fibras do serrátil anterior rodam a escápula para cima durante a abdução de ombro. A parte ascendente do trapézio roda para cima a escápula e medializa a clavícula se mantendo ativa durante todo movimento de abdução de ombro, equilibrando as forças de

puxão do ângulo inferior da escápula promovido pela porção descendente do trapézio. Já a parte transversa do trapézio está muito ativa durante a abdução, e contribui para neutralizar as forças de protração da escápula, junto com os romboides, que retraem a escápula.

Os músculos do manguito rotador fornecem e estabilização adequada para a articulação glenoumeral, devido à falta de estruturas ligamentares para permitir os movimentos amplos do ombro. Por isso, os músculos do manguito rotador, por sua fusão dentro da cápsula articular antes de inserir do úmero compensam a frouxidão natural e a instabilidade articular. Esses músculos são controladores ativos da art. glenoumeral; na contração do m. supraespinal ocorre uma compressão do úmero na cavidade glenoide contra a cavidade glenoide, permitindo um rolamento superior adequado para a abdução, e permite uma distribuição adequada de forças pela maior área de contato em torno de 60 a 120° de abdução.

O m. supraespinal é orientado para abdução de ombro, rolando a cabeça do úmero superiormente, e também aumenta o espaço musculotendíneo, restringindo a translação superior do úmero. Os outros músculos do manguito rotador têm uma linha de força para abdução que contrapõe as forças inferiores dos músculos latíssimo do dorso e do redondo maior e neutraliza parte da contração do deltoide na estabilização estática da glenoumeral. Tais comportamentos musculares passivos e ativos, se não funcionassem adequadamente poderiam ocasionar uma impactação da cabeça do úmero contra o arco coracoacromial, bloqueando a abdução de ombro. Na abdução, os mm. infraespinal e redondo menor podem rodar externamente o úmero e aumentam a liberação entre o tubérculo maior e o acrômio.

Os principais adutores e extensores de ombro são o deltoide posterior, latíssimo do dorso, redondo maior, cabeça longa do tríceps braquial e porção costoesternal do peitoral maior. Puxar o braço contra a resistência, por ex. em uma corda e a impulsão do corpo na água, exige uma forte contração desses músculos. Os músculos latíssimo do dorso, redondo maior e peitoral maior são adutores e extensores de ombro.

A estabilização da art. glenoumeral durante a extensão e a adução é feita pelos romboides, sendo que a escápula roda para baixo e retrai durante esses movimentos. No entanto, as linhas de força dos mm. peitoral menor e latíssimo do dorso auxiliam os romboides a rodarem a escápula para baixo.

Os principais rotadores internos são o subescapular, deltoide anterior, peitoral maior, latíssimo do dorso e redondo maior e alguns desses são extensores

e adutores, excelentes músculos para a natação e arremessos dos lançadores de beisebol. Isso explica a massa muscular dos rotadores internos de ombro que excede a rotação externa. A artrocinemática desse movimento ocorre pelo rolamento do úmero contra a cavidade glenoide fixa. Também pode ocorrer o movimento de rolamento do tronco e escápula com o úmero fixo.

Os principais rotadores externos da art. GU são os mm. infraespinal, redondo menor e deltoide posterior, além do supraespinal, que pode auxiliar a rotação externa. São constituídos de pequena massa muscular, produzindo torque de esforço do ombro relativamente baixo e são usados para gerar contrações concêntricas de alta velocidade para o arremesso do beisebol, por exemplo, e auxiliam na desaceleração da rotação interna durante a contração excêntrica.

## Cinesiologia do Cotovelo e Antebraço

A porção distal do úmero, chamada de tróclea, conecta-se com a incisura troclear componente do olecrano da ulna, formando a art. umeroulnar.

A ulna e o rádio se articulam através da cabeça do rádio com a incisura radial da ulna, formando a art. radioulnar proximal, mantendo um elo através do anel fibro-ósseo composto pelo ligamento anular e incisura radial da ulna. Esse ligamento espesso envolve a cabeça do rádio contra a ulna e sua superfície interna é formada por cartilagem, importante para reduzir a compressão durante os movimentos de pronosupinação.

O rádio se articula com o úmero através do capítulo do úmero com a fôvea radial, formando a articulação umerorradial.

O cotovelo é composto pelas articulações acima descritas, sendo art. umeroulnar responsável pela estabilidade estrutural do cotovelo. As extremidades ósseas que compõem a art. do cotovelo são recobertas por cartilagem hialina e uma cápsula articular.

O termo mais adequado para classificar o cotovelo é articulação em dobradiça modificada, visto que essa sofre uma leve rotação axial, movimentando-se lateralmente durante a extensão e flexão de cotovelo. Esses movimentos ocorrem em um plano médio lateral, passando pelo epicôndilo lateral do úmero. O ângulo formado entre o úmero e a posição do antebraço no plano frontal é chamado de ângulo cubital valgo. O ângulo normal da articulação é de  $13^\circ$  em homens podendo aumentar nas mulheres; tal angulação ajuda a distanciar os objetos da coxa. O ângulo cúbito excessivo é acima de  $20^\circ$ , porém pode apresentar um cúbito varo, quando o antebraço é desviado para a linha média.

A articulação do cotovelo é revestida por uma cápsula articular reforçada por bandas de tecido fibroso por uma membrana sinovial que recobre a camada interna da cápsula. As fibras do ligamento colateral medial reforçam a cápsula articular, resistindo às forças compressivas em valgo do cotovelo e na flexão de cotovelo, especialmente as fibras posteriores. As fibras proximais dos músculos flexores do punho e pronadores também conferem resistência em valgo de cotovelo e são chamadas de estabilizadores dinâmicos mediais do cotovelo.

O ligamento colateral lateral do cotovelo se divide em dois feixes um radial, que são tensionados durante a flexão total de cotovelo; e um feixe ulnar que funciona com um guia de movimento para o cotovelo, dando estabilidade no plano sagital. O ligamento colateral lateral mais a cápsula posterior resiste contra as forças aplicadas em varo.

A artrocinemática da flexão e extensão de cotovelo consiste de rolamento e deslizamento da fôvea radial que está firmemente tracionada contra o capitúlo do úmero pela contração muscular. Essa articulação dá mínima estabilidade ao cotovelo, e confere cerca de 50% da resistência contra o estresse em valgo de cotovelo.

A articulação do antebraço é formada pelas articulações radioulnar proximal e distal e unidas pela membrana interóssea. Os movimentos permitidos por essa articulação são a pronação e supinação, com rotação do antebraço em torno de um eixo que estende da cabeça do rádio até a cabeça da ulna, mecanismo independente da mão. Essas rotações são permitidas porque há um espaço livre entre a ulna distal e lado medial dos ossos do carpo, não havendo interferência da ulna.

Na posição de supinação, a ulna e o rádio estão em paralelos. Na pronação, o segmento distal do rádio roda e cruza a ulna, praticamente fixa. A movimentação da art. umeroulnar na pronosupinação é descrita com uma leve rotação contrária da ulna em relação ao rádio.

Os movimentos de pronação e supinação são importantes para diversas atividades do dia a dia. A posição inicial para os movimentos encontra-se na posição neutra, com o polegar voltado para cima, em meio termo da pronação e da supinação. São alcançados amplitude de 75° de pronação e 85° de supinação.

## Ações Musculares e Ineruações

Os músculos flexores de cotovelo e suas ineruações são as seguintes: M. braquial e bíceps braquial que são inervados pelo n. musculocutâneo; m. braquior-

radial, que é inervado pelo n. radial e o m. pronador redondo, que é inervado pelo n. mediano. Todos são flexores primários do cotovelo.

O bíceps braquial é um músculo biarticular, tendo a combinação de flexão de cotovelo e extensão de ombro como uma vantagem mecânica para produção de força flexora de cotovelo, visto que a força máxima de um músculo é maior quando a velocidade de contração é mais próxima de zero.

Os extensores de cotovelo são o tríceps braquial e ancôneo, que são inervados por um único nervo, o radial. O tríceps braquial é formado por três cabeças localizadas na porção posterior do úmero, e o ancôneo é um músculo pequeno e triangular localizado na porção lateral do epicôndilo lateral do úmero. Apesar dos comprimentos diferentes das três cabeças do tríceps braquial, o braço de momento é igual para os três. O m. ancôneo não produz grandes torques extensores, porém auxilia na estabilidade da art. umeroulnar, principalmente na extensão, supinação e pronação.

Análises eletromiográficas indicam que o m. ancôneo é o primeiro a iniciar e manter a extensão de cotovelo em pequenas forças, que são supridas em grande parte pela cabeça medial do tríceps braquial, sendo o principal extensor do braço. Na sequência, a cabeça lateral desse músculo atua, enquanto a cabeça longa do tríceps funciona como uma reserva para caso ocorra a necessidade de aumentar a força extensora.

Os músculos extensores são estabilizadores estáticos do cotovelo, mesmo na flexão isométrica. O torque máximo gerado pelos mm. extensores está associado ao movimento de empurrar a cadeira, em que há necessidade de flexionar o ombro e estender o cotovelo. A ação do deltoide anterior em flexionar o ombro neutraliza a tendência da força extensora do tríceps braquial. Para produzir grandes torques em extensão, o cotovelo deve estar a 90° de flexão, momento em que ocorre uma extensão quase completa do tríceps e do ancôneo, visto que o comprimento do músculo determina o pico de torque extensor de cotovelo dentro da amplitude de movimento.

Os músculos supinadores são os mm. supinador inervado pelo n. radial e o m. bíceps braquial, e o braquiorradial é um supinador e pronador secundário. O músculo supinador é extenso e são mais ativos que o bíceps braquial em tarefas de baixa potência, enquanto que o bíceps braquial se mantém inativo. O m. bíceps braquial é poderoso supinador quando são requeridos movimentos rápidos e fortes de pronosupinação, colocando o rádio em rotação.

Os pronadores do antebraço são os pronadores quadrado e redondo, ambos innervados pelos n. mediano. Os pronadores secundários são flexor radial do carpo, palmar longo e braquiorradial a partir da posição de supinação.

O pronador redondo atua também como flexor de cotovelo, e sua atividade é notada quando se tenta desparafusar um parafuso bem apertado ou no arremesso do beisebol. O tríceps braquial novamente bloqueia a tendência de flexão de cotovelo, agora do pronador redondo.

O pronador quadrado está mais distal do antebraço, abaixo de todos os flexores de punho e dos dedos. É o músculo mais ativo dos pronadores, independentemente da demanda de força ou da flexão de cotovelo, além de estabilizar a art. radioulnar distal através de uma força de compressão, ajudando a manter o movimento correto do disco fibrocartilaginoso localizado nesta articulação.

## Cinesiologia do Punho

O punho ou carpo é formado por inúmeras articulações, porém duas articulações se destacam: a art. radiocárpica, localizadas entre a porção distal do rádio e a fileira proximal dos ossos do carpo; a art. mediocárpica, que está entre as fileiras proximal e distal dos ossos do carpo. Os movimentos do punho são a flexão e extensão de punho, os desvios ulnar e radial e afetam significativamente a função da mão. E as articulações entre as fileiras proximal e distal dos ossos do carpo, são chamadas de art. intercárpicas.

O antebraço distal é formado pela articulação radioulnar distal e mantém contato com o punho. A porção dorsal do rádio possui sulcos e elevações para a passagem de tendões que vão em direção ao punho e à mão. A superfície distal do rádio é revestida por cartilagem articular modificada para que ocorra o encaixe dos ossos escafoide e semilunar. Nessa região, a fratura dessa região é o local mais acometido durante a queda com palma da mão estendida.

A articulação radiocárpica são formadas pela extremidade distal do rádio com o disco articular, e os ossos escafoide e semilunar. Cerca de 80% das forças de compressão passam através do escafoide e semilunar, e 20% da força de compressão atravessa a articulação radiocárpica e passa pelo disco articular.

A articulação mediocárpica é formada pelas fileiras proximal e distal dos ossos do carpo.

A mão é compreendida por cinco metacarpos e por falanges associadas. A articulação entre a extremidade proximal do metacarpo e a fileira distal dos ossos do carpo é chamado de art. carpometacarpal; entre o metacarpo e a falange proximal é chamada de art. metacarpofalangean; entre as falanges que há a art. interfalangeana (polegar), as art. interfalangeanas proximal e distal (restante dos dedos).

Os metacarpos são enumerados de I a V, iniciando do lado radial para o lado ulnar. Cada metacarpo é compreendido de uma base que articula com os ossos carpais, a diáfise ou corpo e uma cabeça que se articula com as bases das respectivas falanges proximais. Em posição anatômica, do II ao V dedo, os metacarpos estão alinhados lado a lado, enquanto que o metacarpo do polegar está rodado a 90° para medial. Cada falange dentro dos dedos é denominada de proximal, média e distal, exceto no polegar, que apresenta uma próxima e distal, todas contendo uma base, corpo e cabeça.

Os movimentos dos dedos são a flexão e a extensão no plano sagital; abdução e adução no plano frontal. O dedo médio ou III dedo realiza os desvios ulnar e radial. O polegar apresenta movimentações em planos diferentes. A flexão ocorre no plano frontal, cruzado o dedo na palma da mão e a extensão é retorno à posição inicial. Na abdução, o polegar vai para a frente próximo ao plano sagital e adução é retorno para o plano da mão. A oposição é o ato de levar o polegar em direção às extremidades dos dedos da mão.

A articulação carpometacarpiana do polegar é a mais complexa desse grupo articular, devido à variedade e amplitude de movimentos dessa articulação.

A cápsula articular do polegar é naturalmente frouxa para permitir grande amplitude de movimento, sendo reforçada por ligamento e pelas forças musculares.

A art. carpometacarpal tem dois graus de liberdade, sendo a abdução e adução no plano sagital e flexão e extensão no plano frontal. O eixo de rotação da articulação passa pelo membro convexo da articulação. A oposição e a reposição do polegar são realizadas nos dois planos da articulação da carpometacarpal.

A abdução do polegar ocorre em trono de 45° no plano da mão, abrindo o espaço interdigital do polegar formando uma estrutura côncava, essencial para prender objetos com firmeza. Nos movimentos de abdução e adução, a superfície convexa do metacarpo do polegar move-se longitudinalmente e rola no

sentido palmar e desliza dorsalmente sobre a parte côncava do trapézio fixo. Na adução ocorre o movimento inverso.

A oposição do polegar ocorre em dois momentos: uma abdução do polegar seguida pela flexão e rotação medial, levando a palma da mão em direção ao dedo mínimo. Na abdução do polegar, o metacarpo segue em direção palmar através do trapézio. Durante a flexão e rotação medial, o metacarpo gira levemente para medial guiado pelo sulco do trapézio. A oposição completa tem entre 45 a 60° de rotação medial do polegar, sendo a art. carpometacarpal do polegar encarregada por essa rotação, podendo ter auxílio das art. metacarpofalangeana e interfalangeana, que, com a rotação medial do trapézio sobre o escafoide e trapezoide, amplifica a rotação.

As articulações metacarpofalangeanas são formadas entre a cabeça convexa dos metacarpos e a falange proximal relativamente côncava. Permite dois graus de liberdade, flexão e extensão no plano sagital e abdução e adução no plano frontal.

A estabilidade da art. metacarpofalangeana é fundamental para a biomecânica da mão. Essas articulações formam o pilar central da mão, estabilidade que é alcançada por uma série de ligamentos interligados, e embutidos na cápsula de cada articulação metacarpofalangeana estão dois ligamentos colaterais, um radial e um ulnar e uma placa palmar inserindo próximo ao tubérculo posterior à cabeça do metacarpo.

A amplitude de flexão é de 90° no indicador, 110° a 115° no dedo mínimo. As extensões das metacarpofalangeanas podem ser estendidas de 0° até 30 a 45°. A abdução e adução ocorre a cerca de 20° além da linha mediana.

As articulações interfalangeanas proximais permitem 120° de flexão, e as art. interfalangeanas distais podem chegar até 90° de flexão. A extensão das interfalangeanas proximais é de 0°, e as interfalangeanas distais é de 30° em hiperextensão.

A interfalangeana do polegar possui um grau de liberdade, com 70° flexão ativa e até 20° de extensão passiva, sendo essencial em atividades que necessitam de força da polpa do polegar contra o objeto.

## 6.3 Membros Inferiores

### Cintura Pélvica

A pelve é constituída da união do ísquio, púbis e ílio. A região pélvica tem função de sustentar e proteger órgãos pélvicos, transmissão de forças das regiões superiores para os membros inferiores. Sete articulações são formadas por esses ossos: lombossacral, sacroilíaca (duas), sacrococcígea, sínfise púbica e quadril (duas). Embora os movimentos nessas articulações sejam pequenos, elas têm papel importante no parto, assim como apresentam várias lesões resultando em disfunção e dor.

O quadril é formado pela cabeça femoral esférica e o acetábulo da pelve envolvidos por uma camada de cartilagem articular, músculos.

A cabeça femoral está cerca de dois terços dentro do acetábulo, aonde o ponto mais proeminente no acetábulo apresenta maior espessamento da cartilagem articular.

O acetábulo, além de acoplar a cabeça femoral, apresenta uma importante função biomecânica durante a marcha, com flutuações do nível de peso corporal entre 13% até 300% nas fases de oscilação e de apoio médio, respectivamente. Por sua vez, o acetábulo apresenta um mecanismo de redução das forças de pressão, em que o acetábulo se aplaina à medida que a incisura acetabular se alarga, aumentando a área de contato articular, diminuindo o estresse sobre o osso subcondral.

O lábio acetabular é um tecido fibrocartilaginoso, pouco vascularizado, bem innervado capaz de proporcionar feedback proprioceptivo, dor em caso de lesão. O lábio aumenta o acoplamento do acetábulo com a cabeça do fêmur, e causa um selamento, gerando uma pressão negativa intra-articular que resiste à tração, ajuda a manter o líquido sinovial no interior da articulação, reduz o estresse articular e protege a cartilagem articular pelo aumento da área de superfície.

A articulação do quadril apresenta alinhamento acetabular que ajuda a sustentar a cabeça femoral adequadamente: ângulo centro-borda que é de 35° importante para evitar luxações e redução da área de contato, podendo gerar doença articular prematura. O outro ângulo é anteversão acetabular e mede a orientação do acetábulo na horizontal em relação à pelve. O ângulo normal dessa medida é de 20°. Um quadril com anteversão excessiva expõe ainda mais a cabeça do fêmur, o que pode causar um deslocamento anterior e uma lesão anterior de lábio, especialmente na rotação externa.

A articulação do quadril é envolvida por uma membrana sinovial que reveste a camada interna da cápsula articular. Os ligamentos iliofemoral, pubofemoral e isquiofemoral ajudam a reforçar a cápsula. A tensão passiva sobre os ligamentos distendidos, cápsula articular e os músculos definem a amplitude do quadril.

A osteocinémática do fêmur em relação à pelve permite 120° de flexão de quadril com perna fletida, enquanto que com a perna estendida há uma flexão de 70 a 80° de flexão de quadril sendo limitado pelos isquiotibiais. A extensão de quadril é 20° sendo limitada pelos ligamentos capsulares e mm. flexores de quadril. Com o joelho fletido, e a extensão de quadril diminui devido à resistência do reto femoral. A abdução de quadril é em torno de 40°, sendo limitado pelos músculos adutores e ligamento pubofemoral, membro contralateral, a tensão passiva dos músculos abdutores de quadril, trato iliotibial, fibras superiores do ligamento isquiofemoral. A rotação medial é em torno de 35°, alongando os músculos piriforme, e parte do ligamento isquiofemoral. A rotação lateral é em torno de 45°, sendo limitada pelo ligamento iliofemoral lateral e por qualquer músculo rotador medial.

Na osteocinémática da pelve em relação ao fêmur fixo modifica a coluna lombar, determinando o ritmo lombopélvico na mesma direção quando se tenta pegar um objeto do chão, ou quando se tenta reposicionar na postura ortostática em que a pelve inclina anteriormente e a coluna lombar é levada em extensão, apresentando um ritmo lombopélvico contralateral.

Na flexão de quadril, também há inclinação anterior da pelve em relação ao fêmur fixo. O aumento da lordose lombar contrabalança a inclinação pélvica. A inclinação pélvica afrouxa o ligamento iliofemoral, no entanto os músculos isquiotibiais podem limitar a inclinação anterior da pelve na posição sentada. Entretanto, na posição em pé, o alongamento dos músculos isquiotibiais ajuda a resistir à inclinação anterior da pelve.

A abdução do quadril da pelve em relação ao fêmur é de 30°, em virtude da inclinação da coluna lombar, porém são limitados pela resistência do mm. adutores e do lig. pubofemoral. A adução do quadril que está sustentando o peso promove um rebaixamento da pelve contralateral, causando uma ligeira concavidade lombar, movimento resistido pela banda iliotibial, mm. abdutores de quadril, piriforme e tensor da fásia lata.

Nas rotações de pelve em relação ao fêmur, ocorre quando a crista ilíaca que não está sustentando o peso move-se para trás ou para a frente, associado com uma torção da coluna lombar em direção oposta à pelve.

## Músculo do Quadril

Os músculos do quadril podem agir em uma única articulação, chamado de uniarticular; ou em duas ou mais articulações, sendo assim chamado de biarticular.

Os músculos posteriores do quadril serão apresentados a seguir.

### Grupos Posteriores

Originam-se da porção posterior da crista ilíaca, fáscia toracolombar, sacro, cóccix e ligamento sacrotuberoso e se inserem no trato iliotibial e na tuberosidade glútea na diáfise do fêmur e é inervado pelo n. glúteo inferior. Apresenta função de extensor e rotador lateral de quadril. Uma contração ativa pode ser obtida ao subir escadas, na corrida e saltos.

### Isquiotibais

Originam-se da tuberosidade isquiática e inserem-se na porção proximal da diáfise da tíbia. São compostos dos músculos bíceps femoral, semitendinoso e semimembranoso. São extensores primários de quadril e podem ter como função secundária de rotação lateral pela porção da cabeça longa do bíceps femoral. Os isquiotibiais ajudam no reposicionamento do centro de gravidade, principalmente no equilíbrio anteroposterior da pelve.

Outros pequenos músculos compõem o grupo posterior e são chamados de rotadores externos. Eles são: piriforme, obturadores interno e externo, quadrado femoral e os gêmeos superior e inferior e podem ter a ação secundária de outros músculos como as fibras posteriores dos glúteos médio e mínimo, sartório.

### Músculos Anteriores

O m. reto femoral origina-se da espinha ilíaca anteroinferior do acetábulo e insere sobre a patela. Sua função é de flexionar o quadril. É inervado pelo n. femoral.

O m. sartório origina-se da crista ilíaca anterossuperior e se estende obliquamente, inserindo na superfície medial da tíbia, anterior aos músculos grácil

e semitendinoso. É innervado pelo n. femoral. Devido à sua disposição oblíqua, tem função de fletir, abduzir e rodar lateralmente o quadril.

O músculo tensor da fáscia lata é biarticular, é o menor dos abdutores de quadril. Exerce função no quadril e joelho. Origina-se da crista ilíaca e de estruturas adjacentes, lateralmente ao sartório e insere no trato iliotibial. É innervado pelo ramo do nervo glúteo superior. Apresenta função de flexão e rotador interno de quadril. Apesar de fornecer uma estabilização de joelho em extensão, traumas repetitivos podem acontecer, como correr, ciclismo podem causar inflamação no local próximo ao tubérculo lateral da tibia.

O m. iliopsoas é formado pela união do m. íliaco e psoas maior, que tem origens separadas, mas uma inserção comum. O íliaco origina da fossa ilíaca e das faces internas das espinhas ilíacas anteriores e inserem no trocanter menor do fêmur. É innervado pelos ramos do nervo femoral. O músculo psoas maior origina dos corpos vertebrais, discos intervertebrais e dos processos espinhosos das vértebras de T-12 a L-5 e insere também no trocanter menor do fêmur. É innervado por ramos do plexo lombar. O iliopsoas tem função de flexor de quadril.

O músculo psoas menor está anterior ao ventre do músculo psoas maior, origina de T12-L1 e insere-se na pelve próximo à linha pectínea. Esse músculo pode estar ausente em cerca de 40% das pessoas. Tem função de flexão de quadril, porém também pode causar a inclinação posterior da pelve.

O pectíneo é um músculo achatado limitado lateralmente pelo iliopsoas e medialmente pelo adutor longo. Origina do ramo superior do púbis e estruturas adjacentes e insere na linha pectínea sobre a face posteromedial superior do fêmur, logo abaixo do colo femoral. É innervado pelo nervo femoral. A função primária desse músculo é a flexão e adução de quadril, e rotação medial do quadril secundariamente.

## Músculos Laterais do Quadril

O glúteo médio é o maior músculo desse grupo, contribuindo com 60% da área transversal dos abdutores. Origina-se em forma de leque na linha glútea anterior da crista ilíaca e da superfície externa do ílio e insere-se distalmente na região lateral do trocânter maior. É innervado pelo n. glúteo superior.

As fibras do glúteo médio contribuem para a abdução de quadril, enquanto as fibras anteriores fazem a rotação medial, e as fibras posteriores produzem a rotação lateral e extensão.

O glúteo mínimo é o músculo mais profundo dos glúteos, ocupando 20% da área transversal dos abdutores de quadril. Origina-se das linhas glúteas anterior e inferior e insere-se na região anterolateral do trocânter maior e na cápsula articular. É innervado pelo n. glúteo superior. Todas as suas fibras contribuem para abdução de quadril; e as fibras anteriores promovem a rotação medial.

O músculo tensor da fáscia lata é o menor dos abdutores de quadril, ocupa cerca de 11% da área transversal.

Os músculos abdutores de quadril são essenciais para a cinemática da pelve durante a marcha, impedindo a queda da pelve durante as fases de apoio unilateral, sendo facilmente palpável logo acima do trocânter maior. Durante essa fase de apoio, há a produção de força duas vezes maior que o peso do corpo para estabilizar a pelve, o que aumenta a compressão através do quadril. Essas forças que agem no quadril ajudam na estabilização da cabeça do fêmur no interior do acetábulo, auxiliam na nutrição da cartilagem e fornecem estímulos adequados para o desenvolvimento da articulação do quadril em crianças.

O outro músculo dessa região lateral do quadril é o piriforme. Origina-se da superfície ventral do sacro, sulco ciático e ligamento sacrotuberoso e toma um curso inferolateral inserindo-se na porção interna do trocânter maior do fêmur. Este músculo é innervado do ramo derivado diretamente do primeiro e segundo nervos sacrais. A sua principal ação é rotador lateral e abductor de quadril.

## Grupos Mediais do Quadril

O grupo medial é formado pelos músculos adutores de quadril, compostos pelos adutores magno, longo e curto, grácil e pectíneo, que são adutores primários. Porém, há a participação secundária dos músculos da cabeça longa do bíceps femoral, as fibras posteriores do glúteo máximo e o quadrado femoral.

Devido à orientação das suas fibras musculares, funcionalmente são produzidos torques em todos os três planos. O torque adutor no plano frontal controla a pelve em relação ao fêmur e vice-versa, especialmente no controle de movimentos. Já no plano sagital, as fibras posteriores do m. adutor magno são excelentes extensores de quadril, apresenta excelente alavanca. O fêmur não se encontra dentro do arco de 40 a 70° graus. No entanto, quando o quadril está próximo da extensão, o adutor longo exerce um torque flexor de quadril. Tais movimentos são vistos em atividades de movimentos cíclicos como pedalar, correr, agachamento.

## Considerações Gerais

Os músculos do quadril devem ser estudados de duas formas em situações de não sustentação de peso, em cadeia aberta, em que as extremidades livres produzem movimentos. Nas funções de suporte de peso, em cadeia cinética fechada, exercem funções importantes como caminhar, apoio unipodal, subir escadas, levantar-se de uma cadeira.

Assim, a mudança de ação de um músculo ocorre conforme o ângulo articular, visto que estes músculos do quadril agem nos três planos, modificando o torque, podendo aumentar ou diminuir o movimento. Tais mudanças do braço de alavanca do quadril são facilmente demonstradas pela amplitude e pelo tamanho do braço de alavanca.

Como visto, um único músculo pode apresentar várias ações de acordo com as orientações das fibras e do ângulo articular. Por exemplo, as fibras superiores do glúteo máximo fazem a abdução, as fibras inferiores fazem a adução de quadril, e as fibras anteriores e posteriores do glúteo médio fazem a rotação interna e externa, respectivamente. Quando o quadril está em flexão do quadril, ao subir escadas, os adutores são excelentes extensores de quadril, ao passo que, quando o fêmur está em extensão, os adutores se tornam flexores. Tal mudança de flexão para extensão ocorre em torno de 40 a 70°.

Assim, a eficiência do músculo biarticular é determinada pela posição articular, que obedecem à relação de comprimento e tensão. O reto femoral é um potente flexor do quadril quando o joelho está fletido, de modo que, com o joelho estendido, a sua ação flexora diminui. A mesma razão vale para o reto femoral na extensão de joelho se o quadril está estendido. Os isquiotibiais são os principais extensores de quadril quando o joelho está estendido, e na flexão de joelho, para aumentar a eficiência dos isquiotibiais, o quadril deve estar em flexão.

Na posição em pé com o joelho em direção, os músculos iliopsoas, reto femoral, sartório e o tensor da fáscia lata estão mais ativos, principalmente quando os músculos se encontram estirados na extensão de quadril.

Na flexão do quadril durante a posição sentada, uma flexão adicional do quadril ocorre pela contração forte dos músculos sartório e tensor da fáscia lata na faixa de 90°, porém abaixo de 90° esses músculos perdem a capacidade de contrair; somente com a ajuda do iliopsoas é capaz de gerar tensão suficiente para fletir o quadril além dos 90°, além de controlar as vértebras, a pelve sobre o fêmur, ajudando na reposição da coluna ereta, evitando a queda para trás

quando o CG do corpo está posterior ao quadril. Ainda nessa posição sentada, ocorrem ajustes do tronco, na elevação de uma ou duas pernas na posição supina, em que há a participação dos músculos abdominais para agir sinergicamente como flexores de quadril, controlando a pelve e as vértebras. Os músculos abdominais são capazes de impedir a hiperlordose lombar, porém, quando estão fracos, a força do m. psoas maior acentua a lordose lombar. Com a perna estendida bilateralmente, aumenta a tensão sobre as vértebras lombares, e o iliopsoas deverá produzir grandes torques, os músculos abdominais entram em ação para ajudar a na estabilização da coluna lombar na superfície de apoio.

Foi visto que vários músculos passam por trás do eixo de flexo-extensão do quadril, servem de extensores em todas as posições desta articulação, glúteo máximo, cabeça longa do bíceps, semimembranoso e semitendinoso, adutores durante a flexão de quadril.

A extensão do quadril realiza a inclinação posterior da pelve com a coluna lombar, assim como os extensores e abdominais agem sinergicamente para inclinar a pelve posteriormente à pelve para estender o quadril e diminuir a lordose lombar. A extensão do quadril controla a inclinação anterior da pelve em atividades como escovar os dentes, atividades que deslocam o peso à frente dos quadris, o controle extensor é realizado pelos isquiotibiais, com pouca ação dos glúteos.

Os músculos extensores de quadril são capazes de estender o fêmur em relação à pelve, acelerando o corpo para a frente e para cima, como o ato de subir uma montanha ou andar agachado. Assim, a flexão de quadril gera maior torque para os músculos extensores e para os adutores de quadril, ajudando por consequência na estabilização da pelve e na sustentação do tronco flexionado.

No apoio unilateral, o glúteo médio produz a maior parte do torque abductor capazes de aumentar as forças de compressão do quadril, produzindo duas vezes mais força que o peso corporal para gerar a estabilidade da pelve na fase de apoio unilateral. O acetábulo é levado ao encontro da cabeça femoral, sendo as forças equilibradas pela força de reação articular. A força de reação é cerca de 2,5 vezes o peso corporal, sendo que, na marcha a força de compressão, é 3 vezes o peso, podendo aumentar de 5 a 6 vezes na corrida e ao subir escadas.

## Articulação do Joelho

A articulação do joelho é formada por três ossos fêmur, tíbia e patela, que formam duas articulações, a petelofemoral e, tibiofemoral, que geram movimentos em dois planos, a flexoextensão e as rotações medial e lateral. Funcionalmente, várias atividades biomecânicas são expressas na marcha e corrida. Participa na sustentação de peso corporal, no agachamento e levantamento do corpo, rotação do corpo sobre um pé fixo. A mobilidade é fornecida pelas estruturas ósseas e a estabilidade é fornecida pelos ligamentos, músculos, cartilagem e meniscos, sendo essas estruturas estabilizadoras mais frequentemente lesionadas devido ao grande torque produzido pelas forças que agem no fêmur e tíbia.

A extremidade femoral apresenta côndilos lateral e medial seguido por elevações em cada região, chamada de epicôndilo inserção dos ligamentos colaterais medial e lateral. Na incisura articular que separa os côndilos lateral e média da tíbia, localizam-se os ligamentos cruzados.

Os côndilos femorais se unem para formar um sulco intercondilar que conecta com a face posterior da patela, dando origem à articulação patelofemoral. Os sulcos medial e lateral são levemente preenchidos por cartilagem que cobre os côndilos femorais.

Já a tíbia apresenta função de transferência de peso do joelho para o tornozelo. A tíbia mantém uma relação com fêmur através dos côndilos que formam a articulação femorotibial. A tuberosidade da tíbia serve para inserção do tendão patelar do quadríceps femoral.

A patela é um osso sesamoide recoberto pelo tendão quadricipital, e que apresenta uma camada de 5 mm de cartilagem articular que se articula com o sulco intercondilar do fêmur, ajudando a dissipar grandes forças de compressão.

A anatomia do joelho pode apresentar uma relação com o alinhamento do joelho. A orientação normal do joelho é de  $175^\circ$ . Assim, ângulos abaixo de  $165^\circ$  formam um X, formam um gênio valgum, e acima de  $180^\circ$  as pernas ficam arqueadas, chamadas de geno varo.

A cápsula articular se divide em anterior, posterior, posterolateral e medial, sendo reforçadas por tendões musculares e outros ligamentos.

O joelho é envolvido por uma membrana sinovial e por um conjunto de 14 bolsas sinoviais que são extensões da membrana em locais que apresentam

alta fricção nos movimentos. Os meniscos são estruturas fibrocartilaginosas em formato de meia localizados na região tibiofemoral, ajudando a reduzir o estresse, estabilizar a articulação, nutrir a cartilagem. Assim, em cirurgias de menisco, a pressão de contato aumenta em 230% no joelho. A cada movimento, os meniscos são deformados perifericamente, fazendo que ocorra a absorção de joelho com uma tensão, assim as funções de nutrição e lubrificação da articulação são perdidas.

A amplitude da flexão de joelho é de 130 a 150°, enquanto a extensão é em torno de 0 a 5°. Já a rotação axial com o joelho flexionado é em torno 40 a 45°, tendo a rotação lateral o dobro da rotação medial, enquanto que, na extensão de joelho, a rotação é nula, bloqueada pelos ligamentos e congruência articular.

### Artrocinemática Tibiofemoral

Na extensão da tibia em relação ao fêmur, como a tibia é côncava, ocorre o rolamento e deslizamento anterior da superfície articular da tibia, e, pela ação do quadríceps, os meniscos são tracionados durante o movimento. Na posição de flexão de joelho a 90°, pode ser observada uma “torção do joelho” nos últimos 30° da extensão, em que ocorre 10° de rotação lateral, o que causa o travamento da articulação, ações combinadas que aumentam a área de contato, favorecendo a congruência e estabilidade da articulação. Com a tibia fixada ao solo, partindo da flexão como nas atividades de agachamento, o fêmur roda medialmente no final da extensão.

Esse mecanismo de rotação lateral e medial da tibia e do fêmur é causado pelo formato do côndilo femoral medial, tensão passiva do LCA e tração lateral do quadríceps.

Para ocorrer a flexão do joelho, o m. poplíteo roda medialmente a tibia em relação ao fêmur, para destravar a articulação na extensão completa, e roda lateralmente o fêmur em relação à tibia para iniciar a flexão do joelho.

Para ocorrer a rotação axial do fêmur sobre a tibia, os meniscos são deformados levemente durante o giro dos côndilos femorais, e são estabilizados pelos músculos poplíteo e semimembranoso.

Os ligamentos colaterais cruzam a articulação medialmente (LCM) e lateralmente (LCL). O ligamento colateral medial é originado do epicôndilo medial do fêmur e é dividido em duas camadas. Ele se inserem nos retináculo medial da patela, na porção medioproximal da tibia e nos mm. sartório, grácil, semimembranoso, cápsula articular posteromedial e do menisco medial. O ligamento

colateral lateral (LCL) está entre o epicôndilo lateral do fêmur e a cabeça da fíbula, entrelaçado com o tendão do bíceps femoral e não se insere no menisco lateral.

A função desses ligamentos é limitar o movimento excessivo do joelho, fornecer resistência contra o estresse em valgo (LCM) e em varo (LCL), além de estabilizar o joelho nos movimentos no plano sagital em conjunto com outros ligamentos e cápsula articular. Os ligamentos colaterais e cápsula também impedem as rotações excessivas.

Os mecanismos de lesão desses ligamentos ocorrem em atividades desportivas, como o futebol, com a força em valgo e em varo no joelho com o pé apoiado no chão, forte hiperextensão combinado com a rotação lateral de joelho.

Os ligamentos cruzados são ligamentos intracapsulares, espessos e fortes, cruzam a articulação do joelho da linha intercondilar do fêmur até a tíbia, sendo tensionados em todos os movimentos extremos da articulação contra as forças de cisalhamento da tíbia com o fêmur. Eles participam da orientação da artrocinemática do joelho por meio da propriocepção, devido à presença de mecanorreceptores para prevenção de estiramento dos ligamentos cruzados durante a contração muscular.

## Cinemática da Articulação Patelofemoral

Na extensão completa de joelho, a patela fica abaixo e ancorada no sulco intercondilar do fêmur e próxima aos panículos adiposos, de modo que as faces da patela dividem a área de contato. Por volta de 135° de flexão, o ponto de contato da patela é no polo superior. Com 90° flexão de joelho, o contato da patela migra para o polo inferior e entre os 90° para 60° de flexão a patela fica encaixada no sulco intercondilar do fêmur, porém a área de contato é um terço em toda região posterior da patela. Portanto, a pressão no joelho aumenta por conta da área de contato reduzida e pela forte contração do músculo quadríceps. Nos últimos 30 a 20° de flexão, o contato da patela migra para a região posterior.

## Extensores de Joelho

Os músculos extensores de joelho são o quadríceps femoral, grande e potente composto do reto femoral, vastos medial, lateral e intermédio. Somente a contração do reto femoral pode flexionar o quadril.

Todas as fibras se unem recobrando a patela e formam o tendão quadricipital e se inserem na tuberosidade da tíbia. Os vastos lateral e medial inserem-se na cápsula, meniscos através dos retináculos. No vasto medial, por meio das suas fibras oblíquas, a tração oblíqua ajuda na orientação e estabilização da patela. O vasto intermédio está abaixo do reto femoral, e algumas fibras se inserem na face anterior da porção distal do fêmur e da cápsula, e que são tensionados durante a extensão.

Os torques laterais são relativamente grandes na fase de 90 a 45° de flexão de joelho via extensão do fêmur em relação à tíbia e de 45 a 0° da tíbia em relação ao fêmur. Já o máximo de torque medial em relação ao ângulo articular é maior na amplitude de 45 a 70° de flexão de joelho. O torque máximo de extensão do joelho alcança 90% do total de torque na fase de 80 a 30° de flexão, tendo muita implicação funcional do quadríceps nas atividades de subir degraus, levantar da cadeira ou manter a posição do meio do agachamento. A aproximação da extensão completa reduz até 70% do torque dos quadríceps.

O valgo de joelho tem o ângulo Q aumentado na tração lateral da patela. Pode ser em decorrência da frouxidão ligamentar ou de lesão do LCM, associada à adução crônica de quadril. A fraqueza dos músculos abdutores e o encurtamento dos adutores de quadril podem fazer que o fêmur rode medialmente, conseqüentemente aumentando o valgismo.

## Flexores e Rotadores de Joelho

Os músculos isquitibiais, sartório, grácil e o poplíteo têm função de rotação lateral e medial e flexão de joelho, exceto pelo gastrocnêmio. São flexores de joelho, todos os isquiotibiais, porém os semitendinoso e o membranoso rodam medialmente e o bíceps femoral roda lateralmente o joelho.

Os mm. sartório e grácil têm inserção proximal na pelve e distal no joelho, precisamente na região próxima a inserção do semitendinoso, formando assim a pata de gancho. Este grupo muscular faz rotação medial e flexão de joelho.

Todos os músculos flexores e rotadores expressam sua atividade durante a marcha e corrida, acelerando e desacelerando a perna nas fases de oscilação. Através da contração excêntrica, esses músculos ajudam a diminuir o impacto da extensão completa de joelho, também aumenta a velocidade e o impacto durante a corrida, proporcionada pela aceleração rápida e vigorosa da flexão de joelho.

## Cinesiologia do Tornozelo e Pé

O simples ato de caminhar e correr exige que o pé seja flexível para absorver o estresse de acordo com a inúmeras articulações. Essa estrutura participa ativamente da locomoção, sustentação, equilíbrio. Outra função importante é fornecer propriocepção para os músculos dos membros inferiores.

O pé é dividido em retopé (tálus, calcâneo e art. subtálar); mediopé (todos os ossos restantes do tarso; incluindo art. transversa e intertársicas do pé); antepé (metatarsos e falanges, art. distais e metatarsal).

Os movimentos do tornozelo e pé são descritos obedecendo aos planos e eixos de movimento. Na dorsiflexão e flexão plantar, o eixo de rotação é lateromedial, no plano sagital. A inversão e a eversão ocorre no eixo de rotação anteroposterior, no plano frontal, sendo visíveis no varo e valgo; a abdução e a adução ocorrem no eixo vertical, no plano horizontal; os movimentos de pronação e supinação, no plano oblíquo, que combina com movimentos de inversão, adução e flexão plantar; para a pronação, combina os movimentos eversão, abdução e dorsiflexão.

A articulação talocrural é formada pela tróclea, e as faces do tálus com a concavidade distal da tíbia e os maléolos, mantendo importante estabilidade natural do tornozelo, visto que 90% das forças de compressão passam pelo tálus.

A articulação talocrural possui um grau de liberdade de movimento, sendo seu eixo ligeiramente inclinado em torno de 10° no plano frontal e 6° no plano horizontal. Assim, a dorsiflexão é combinada com a abdução e eversão, e a flexão plantar é combinada com adução e inversão, sendo, por definição, produz pronação e supinação. A amplitude de dorsiflexão é de 15 a 25° e a flexão plantar é de 40 a 55°, tendo movimentos acessórios da subtalar.

Na dorsiflexão, o tálus rola para a frente em relação à perna e, em seguida, desliza para trás, sendo limitado a progredir no deslizamento posterior pelo ligamento calcaneofibular. A dorsiflexão alonga a cápsula posterior. A dorsiflexão é limitada em entorses laterais de tornozelo.

Na flexão plantar, o tálus rola posteriormente e desliza anteriormente, simultaneamente, e os ligamentos talofibular anterior e deltoide se tornam tensos nesse movimento. A flexão plantar alonga os músculos dorsiflexores e alonga a cápsula anterior.

A articulação subtalar consiste de três articulações provenientes das faces do tálus. Essa articulação absorve forças rotacionais enquanto mantém o

contato do pé no solo. Possui movimentos triplanares em único eixo articular. Os movimentos são: . pronação (abdução com eversão); supinação (adução com inversão); flexão plantar e dorsiflexão. Durante a marcha, quando o calcâneo está relativamente imóvel por causa da descarga de peso corporal, uma parcela significativa da pronação e supinação ocorre pela rotação do tálus e da perna no plano horizontal.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADIO, A.C., LOBO DA COSTA, P.H., SACCO, I.C.N. SERRÃO, J.C. ARAUJO, R.C. MOCHIZUKI, L., DUARTE, M. **Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano**: Descrição e Aplicação dos Métodos de Medição. *Revi. Bras. Fisioter.*, v.3, n.2, p.41-54, 1999.
- KNUDSON, D. **Fundamentals of Biomechanics**. 2º Edition. New York: Springer, 2007.
- NEUMAN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- SACCO, I.C.N., TANAKA, C. **Cinesiologia e Biomecânica dos Complexos Articulares**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
-



## ANOTAÇÕES



## ANOTAÇÕES

P15020017



ISBN 978-85-5548-135-2



9

788555

481352