

CAPÍTULO 17

ASPECTOS BIOQUÍMICOS E FISIOLÓGICOS DO ACOPLAMENTO EXCITAÇÃO-CONTRAÇÃO E DESEMPENHO MUSCULAR

Francisca Tainá da Silva Gomes
Débora Lopes Silva de Souza
Lais Fernanda de Pontes Santos

RESUMO

O músculo esquelético é um órgão que apresenta uma função bem característica, a de transformar energia química em movimento. A contração pode ser caracterizada como uma atividade que requer a ativação das fibras musculares, e com essa ativação é gerado o seu encurtamento. Os filamentos de actina e miosina que constituem as miofibrilas são grandes moléculas poliméricas, encarregadas pelo procedimento de contração muscular. Esta revisão tem como objetivo apontar os possíveis mecanismos fisiológicos e bioquímicos provenientes do acoplamento da excitação-contração e do seu desempenho muscular em atividades voluntárias e/ou involuntária. Em conclusão a contração muscular é um processo que precisa do envolvimento das microfibrilas, como a actina e miosina, para que haja o seu deslizamento e eventualmente a sua contração.

PALAVRAS-CHAVE: Contração muscular. Despolarização do sarcolema. Fibra muscular. Sistema muscular esquelético.

1. INTRODUÇÃO

A terminologia de acoplamento excitação-contração é caracterizada como uma série de eventos que são realizados durante o procedimento da ativação do músculo, que inicialmente começa com a despolarização da membrana e finaliza com a ação do Ca^{2+} para gerar o procedimento contrátil (MEISSNER, 2017).

O músculo esquelético é um órgão que apresenta uma função bem característica, a de transformar energia química em movimento, ou seja, energia mecânica, essa especialidade é desenvolvida devido a otimização de um conjunto especializado de proteínas que estão relacionadas com o processo de movimento (FERREIRA, 2005).

A fibra muscular estriada é constituída por um sarcolema, por um sarcoplasma, por inúmeras microfibrilas e por núcleos subsarcolêmicos. O sarcolema tem um importante papel durante a contração muscular, pois, essa incrível estrutura tem a funcionalidade de separar as membranas dos meios externo e interno, sendo esses meios ricos em íons potássio e íons sódio respectivamente (LEVY *et al.*, 1960).

A contração pode ser caracterizada como uma atividade que requer a ativação das fibras musculares, ou seja, aumentar as chances das contrações e com essa ativação é gerado o seu encurtamento. Para que isso ocorra é necessário que o cálcio citosólico aumente seus eventos

moleculares causando a interação entre as proteínas actina e miosina que geram o seu deslizamento dos seus filamentos causando o encurtamento dos sarcômeros em uma sequência em série (CLARK, 2002).

Os filamentos de actina e miosina que constituem as miofibrilas são grandes moléculas poliméricas, encarregadas pelo procedimento de contração muscular. Essas proteínas estão localizadas na parte interna do sarcômero, ou seja, a unidade contrátil do músculo, que são organizadas paralelamente formando as miofibrilas constituídas por milhares de filamentos finos e grossos. Esse evento da contração do músculo, pode ser representado pela interação entre essas proteínas quando a cabeça da miosina se associa ao sítio de ligação do filamento de actina, ocasionando o encurtamento do sarcômero (GUYTON, 2017).

Existem alguns fatores musculares que podem induzir ou até mesmo influenciar a capacidade do músculo em produzir força, sendo elas, a área da secção transversal do músculo, os tipos de fibras musculares e o tipo de contração muscular. Um outro ponto importante é em relação do arranjo das fibras de cada músculo poder determinar o potencial da força que o músculo poderá produzir, da mesma forma esse mesmo arranjo determina o comprimento que os músculos podem se contrair, em uma determinada velocidade (FOSS; KETEYIAN, 2000).

Esta revisão tem como objetivo apontar os possíveis mecanismos fisiológicos e bioquímicos provenientes do acoplamento da excitação-contração e do seu desempenho muscular em atividades voluntárias e/ou involuntária.

2. MÉTODOS

Para esta revisão foram realizadas buscas de artigos nas seguintes bases de dados: MedLine (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/PubMed), Science Direct, Scielo e Google Acadêmico. Tais bases foram escolhidas visto que possuem uma grande importância na área das ciências biológicas e na área da saúde.

Para a identificação e busca pelos descritores e termos utilizados foi desenvolvida uma consulta aos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) através do portal da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Medical Subject Headings (MeSH), através do portal da U.S. National Library of Medicine (NLM). Os descritores selecionados foram “Muscle Contraction”, “Satellite Cells, Skeletal Muscle” e “Musculoskeletal System”.

Após este levantamento, as palavras-chave foram usadas em todas as bases de dados, sem limitação de tempo ou idioma, para aumentar as chances de busca nas bases de dados.

3. FISILOGIA DO MÚSCULO ESQUELÉTICO

O sistema muscular esquelético, que constitui a composição do corpo humano, apresenta algumas características essenciais, excitáveis, contráteis e elásticas e juntas realizam três funções de extrema importância para o corpo humano, sendo elas, geração de força para ocorrer a locomoção e a respiração, geração de força para o desenvolvimento da sustentação postural, e na produção de calor durante os períodos frios. Entretanto, a função mais importante e primordial do músculo esquelético é a habilidade do indivíduo se locomover e respirar livremente (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2003).

O músculo esquelético constitui o tecido mais abundante de todo o corpo humano, e as forças musculares que atuam sobre o sistema corporal é realizado por meio de alavancas ósseas que impulsionam a movimentação dos ossos a fim de locomover um determinado objeto, movimentar o próprio corpo, ou até mesmo realizar as duas atividades simultaneamente (WILMORE; COSTILL, 2001).

O procedimento de excitabilidade e da contração dos músculos esqueléticos geralmente ocorrem sob condições conscientes, ou seja, através das milhares conexões entre o sistema muscular esquelético e o sistema nervoso central por intermédio dos nervos sensitivos e motores, diferentemente do que ocorre com o músculo cardíaco, que normalmente e em condições normais, sua contração é devido a respostas ou a estímulos que são gerados independentemente do indivíduo ter consciência ou não desta ação (GUYTON, 2017).

A grande maioria dos músculos esqueléticos está ligada, direta ou indiretamente, aos ossos por meio de sua associação com os tendões, cartilagens, ligamentos e fâscias, ou até mesmo na combinação de algumas dessas estruturas. O músculo esquelético é constituído por diferentes tipos de tecidos, os mais comuns entre eles estão, as células musculares, os tecidos nervosos, os vasos sanguíneos e vários tipos de tecidos conjuntivos (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2003; GUYTON, 2017).

4. ACOPLAMENTO EXCITAÇÃO-CONTRAÇÃO

A habilidade de se movimentar é uma característica fundamental do comportamento humano, isso em relação a execução de atividades diárias como também para a realização de atividades físicas. Esse movimento é realizado devido a contração da musculatura esquelética que atua em conjunto com um sistema de alavancas constituído pelos ossos, tendões, articulações e ligamentos. Esse procedimento ocorre porque o tecido muscular é o único tecido capaz de desenvolver uma tensão ativa (BRUNIERA; BRUNIERA, 2000).

A ação que resulta desta tensão muscular pode ser subdividida em concêntrica, excêntrica ou isométrica, podendo depender se o músculo irá encurtar, alongar ou até mesmo permanecer com o mesmo comprimento (HAMILL; KNUTZEN, 1999).

O músculo esquelético é composto por células multinucleadas e alongadas popularmente chamadas de fibras musculares, essas fibras musculares apresentam em seus citoplasmas milhares de microfibrilas, que são pequenas fibras responsáveis pela contração muscular (FERREIRA, 2005).

As microfibrilas apresentam em sua estrutura feixes de fibras extremamente organizadas, e essa organização proporciona uma sequência de padrões repetitivos de várias bandas, as bandas claras (bandas I, isotrópicas) e escuras (banda A, anisotrópicas) quando são visualizadas por meio da microscopia. No centro das bandas I, mais especificamente no núcleo da banda há uma região altamente refratária, isto é, com uma alta densidade proteica sendo denominada linha Z. Já no centro da banda A, encontrasse uma região menos densa chamada de linha H. Na sequência dos segmentos das linhas Z, apresenta uma estrutura denominada de sarcômero, quando observada é possível notar uma organização paralela aos conjuntos de dois tipos de filamentos, filamentos finos referentes a actina e filamentos grossos para a miosina, que se organizam parcialmente (BAGSHAW, 1993; MUKUND, 2020).

Quando ocorre uma contração do músculo, a banda I apresenta uma diminuição em seu comprimento, enquanto a banda A não sofre nenhuma alteração. Essa incrível característica peculiar que ocorre durante a contração levou a criação de um modelo chamado de teoria dos filamentos deslizantes (HUXLEY, 1972). De acordo com essa teoria, chegaram à conclusão que os filamentos finos e grossos deslizam uns sobre os outros sem causar alterações em seus comprimentos, levando então assim ao encurtamento apenas do sarcômero (CLARK, 2002; HUXLEY, 1972).

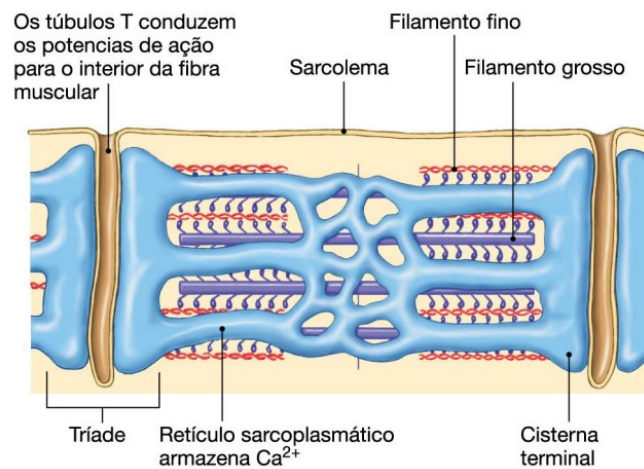
A contração muscular depende da interação entre a actina e a miosina e essa interação é cíclica, que acaba resultando no deslizamento dos filamentos finos e grossos, isso tudo acopladas a hidrólise de ATP (BAGSHAW, 1993).

5. DESPOLARIZAÇÃO DO SARCOLEMA

A despolarização do sarcolema de uma fibra muscular esquelética ocorre devido a propagação do potencial de ação que sai da superfície da membrana para o interior da fibra por meio de vários túbulos-T (figura 1). Associados aos túbulos pode-se encontrar as cisternas do

retículo sarcoplasmático formando com o túbulo T uma estrutura chamada de tríade (BROOKS, 2003).

Figura 1: Despolarização do sarcolema.



Fonte: Silverthorn (2010).

A despolarização do túbulo T proporciona alterações das proteínas di-hidropiridina. Esta modificação é repassada para os podócitos que estão em constante contato com as proteínas. Os podócitos são projeções citoplasmáticas de proteínas que atuam no retículo sarcoplasmático denominadas proteínas receptoras de rianodina (GEEVES; HOLMES, 1999).

Estas proteínas são encontradas nas cisternas em constante contato com o túbulo T apresentando canais altamente seletivos para os íons cálcio. Quando ativados os receptores destas proteínas alteram a conformação da proteína di-hidropiridina que é induzida pela despolarização que atingem os túbulos T, seus canais abertos liberam o cálcio do retículo sarcoplasmático para o citoplasma das fibras musculares (BRIAN, 2003).

6. TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

O corpo humano apresenta em sua massa muscular milhares de fibras que são apresentadas em apenas dois tipos principais, as fibras musculares vermelhas e as brancas. As fibras musculares vermelhas são denominadas de fibras do Tipo I ou (contração lenta), já as fibras musculares brancas são chamadas de Tipo II ou (contração rápida) (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2003).

Os dois tipos de fibras estão presentes nos músculos de todo o organismo, entretanto, as fibras podem apresentar um predomínio em determinado tipo em relação a outra devido ao músculo ou a fatores genéticos. Como por exemplo, durante a prática de uma atividade física, ambas as fibras estão presentes nos músculos e contribuem para que ocorra a execução do

movimento, o que irá diferenciar será o número das unidades motoras, que ocorre devido a junção de inúmeras fibras musculares de cada um dos tipo (FOSS; KETEVIAN, 2000).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os aspectos mencionados a contração muscular é um processo que precisa do envolvimento das microfibrilas, como a actina e miosina, para que haja o seu deslizamento e eventualmente a sua contração. Está claro, que para ocorrer os procedimentos necessários para o processo de contração é de fundamental importância e necessidade a interação da membrana do sarcômero ajudando no processo de transporte de íons sódio e potássio pela membrana da célula.

REFERÊNCIAS

BAGSHAW, C. R. **Muscle Contraction**. Second edition. London, United Kingdom: Chapman e Hall, 1993.

BRIAN, R. M. Role of Calcium Sensivity Modulation in Skeletal Muscle Perfomance. **News Physiol Sci** 2003; 18: 222-225. Disponível em: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/nips.01456.2003>. Acessado em: Jan. 2023.

BROOKS, S. V. Current topics for teaching skeletal muscle physiology. **Advances in physiology education**, v. 27, n. 4, p. 171-182, 2003. Disponível em: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/advan.2003.27.4.171>. Acessado em: Mar. 2023.

BRUNIERA, C. A. V.; BRUNIERA, L. B. O mecanismo de contração muscular durante o movimento humano. **Journal of Health Sciences**, v. 2, n. 1, 2000. Disponível em: <https://journalhealthscience.pgsscogna.com.br/JHealthSci/article/view/1746>. Acessado em: Mar. 2023.

CLARK, K. A. *et al.* Striated Muscle Cytoarchicterure: An Intricate Web of Form and Function. **Ann Rev Cell Dev Biol**, 2002; 18: 637-706. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.cellbio.18.012502.105840>. Acessado em: Fev. 2023.

FERREIRA, A. T. Fisiologia da contração muscular. **Revista Neurociências**, v. 13, p. 60-62, 2005. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias/article/view/8813>. Acessado em: Mar. 2023.

FOSS, M. L.; KETEVIAN, S. J. **Fox: bases fisiológicas do exercício e do esporte**. Tradução de Giuseppe Taranto. 6. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

GEEVES, M. A.; HOLMES, K. C. Structural Mechanism of Muscle Contraction. **Ann Rev Biochem** 1999; 68: 687-728. Disponível em:

<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.biochem.68.1.687>. Acessado em: Fev. 2023.

GUYTON, A. C. **Tratado de Fisiologia Medica**. 13 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 2017.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. São Paulo: Manole, 1999.

HUXLEY, H. E. Structural changes in actin-and myosin-containing filaments during contraction. **Cold spring harbor symp. Quant. Biol.** 37, 361-376, 1972. Disponível em: <https://symposium.cshlp.org/content/37/361.extract>. Acessado em: Fev. 2023.

LEVY, J. A. *et al.* Mecanismo da contração muscular. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 18, n. 3, p. 259-264, 1960. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/anp/a/jm5cpHfJm6JJZRc9XHSQGks/abstract/?lang=pt>. Acessado em: Mar. 2023.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

MEISSNER, G. The structural basis of ryanodine receptor ion channel function. **Journal of General Physiology**, v. 149, n. 12, p. 1065-1089, 2017. Disponível em: <https://rupress.org/jgp/article/149/12/1065/43566/The-structural-basis-of-ryanodine-receptor-ion>. Acessado em: Mar. 2023.

MUKUND, K. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine**, v. 12, n. 1, p. e1462, 2020. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wsbm.1462>. Acessado em: Fev. 2023.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana. Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 992p.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. **Fisiologia do esporte e do Exercício**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2001.