

EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA REOLOGIA SANGUÍNEA

 <https://doi.org/10.56238/sevned2025.001-020>

Tálita Sabrina Pereira Santos

Graduanda em Medicina
UNIMA Centro Universitário de Maceió
Email: talitasabrinajor@gmail.com

Igor Sombra Silva

Médico, Mestre em Ciências da Saúde
Hospital Memorial Arthur Ramos – Rede D’Or
Email: igor_sombra@yahoo.com.br

RESUMO

Vários processos e interações celulares são mediados através das membranas. Para funcionamento ideal, as membranas celulares devem ter estabilidade e funcionalidade, propriedades que dependem do seu grau de fluidez. Tanto a fluidez extrema como a insuficiente são características indesejáveis que afetam a fisiologia celular e podem contribuir para a perda de estabilidade e consequente aceleração da destruição da membrana, levando à destruição celular. Os eritrócitos são um bom modelo para estudar a estabilidade de membranas biológicas por sua conveniência, pois é fácil monitorar sua lise. O ambiente no qual os eritrócitos se encontram no sangue é um fator decisivo na determinação da composição e da fluidez da membrana celular. Esse ambiente pode ser alterado pela dieta, exercício e várias doenças. Entende-se por hemorreologia o estudo do fluxo e dos componentes do sangue na micro e na macrocirculação. A prática regular de exercício físico promove adaptações hemorreológicas no sangue, como as mudanças na agregação, deformabilidade e fluidez de eritrócitos, no sentido de melhorar a eficiência na coleta, transporte e entrega de oxigênio aos tecidos. Estudar o exercício físico em relação à hemorreologia é importante para determinar a capacidade das células de transportar e transferir oxigênio para os tecidos. A compreensão dos efeitos do exercício físico na hemorreologia deve abranger análises distintas das alterações agudas e crônicas.

Palavras-chave: Exercício físico. Eritrócitos. Estabilidade osmótica. Hemorreologia.

1 INTRODUÇÃO

Os eritrócitos são um bom modelo para estudar a estabilidade de membranas biológicas por sua conveniência, pois é fácil monitorar sua lise. Além disso, propriedades como as mudanças na composição e comportamento das suas membranas pode se refletir em células no corpo (De Freitas et al.,2008; Lemos et al.,2011). O ambiente no qual os eritrócitos se encontram no sangue é um fator decisivo na determinação da composição e da fluidez da membrana celular. Esse ambiente pode ser alterado pela dieta, exercício e várias doenças (De Freitas et al.,2010; De Arvelos et al.,2013).

Entende-se por hemorreologia o estudo do fluxo e dos componentes do sangue na micro- e na macrocirculação. Nesse ramo de pesquisa também ocorre à investigação dos fatores e das situações fisiológicas ou patológicas que influenciam o fluxo sanguíneo (Brun et al 2007; Copley, 1990). Dentre estes fatores estão os elementos que constituem o sangue, a deformabilidade e as propriedades físicas do sangue e dos eritrócitos, tais como: viscosidade, rigidez e estabilidade. Há um crescente número de dados clínicos e experimentais indicando claramente que o comportamento do fluxo sanguíneo é o fator determinante para uma perfusão tecidual adequada (Baskurt ; Meiselman, 2003).

A prática regular de exercício físico promove adaptações hemorreológicas no sangue, como as mudanças na agregação, deformabilidade e fluidez de eritrócitos, no sentido de melhorar a eficiência na coleta, transporte e entrega de oxigênio aos tecidos (Brun 2002; Brun et al 1998).

Estudar o exercício físico em relação à hemorreologia é importante para determinar a capacidade das células de transportar e transferir O₂ para os tecidos. A compreensão dos efeitos do exercício físico na hemorreologia deve abranger análises distintas das alterações agudas e crônicas. A atividade física promove melhorias na saúde física e mental essas alterações estão relacionadas ao volume, intensidade, tipo, duração do exercício e nível de aptidão física do indivíduo (Connes et al,2004; Yalcin et al.,2003; De Souza Junior et al.,2025).

Esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão narrativa sobre as alterações hemorreológicas agudas e crônicas causadas pelo exercício físico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi elaborado a partir de uma revisão nas bases de dados LILACS / BVS, MEDLINE / PUBMED, EMBASE, ScienceDirect, Scopus. As palavras-chave utilizadas foram, “hemorreologia” e suas correspondentes em inglês, “hemorheology”. Foram critérios de exclusão: artigos publicados antes de 1980 e os que se referiam à doenças, foram encontrados 2142 artigos.

Após a leitura dos títulos dos artigos, notou-se que alguns deles se repetiram e outros não preenchiam os critérios deste estudo. Foram selecionados 100 artigos para a leitura do resumo e excluídos os que não diziam respeito ao propósito deste estudo. Após a leitura dos resumos, foram

selecionados 32 artigos que preenchiam os critérios inicialmente propostos e que foram lidos na íntegra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ALTERAÇÕES HEMORREOLÓGICAS AGUDAS PELO EXERCÍCIO

As principais alterações do exercício de forma aguda na hemorreologia são aumento da rigidez, aumento da viscosidade e a diminuição da deformabilidade dos eritrócitos (Wood et al 1991). Essas alterações estão relacionadas com às modificações dos fluidos corporais, pelo aumento da concentração das células circulantes e da produção de metabólitos (Yalcin et al., 2003).

Os principais fatores responsáveis pela mudança de fluídos no organismo em decorrência do exercício físico são: redistribuição das células vermelhas no leito vascular; contração do baço para aumentar a liberação de células vermelhas circulantes (Convertino et al 1988), aumento da concentração de proteínas no plasma; perda de água via suor e respiração para termorregulação; entrada de água dentro das células musculares (Stephenson; Kolka, 1988).

Essas modificações fisiológicas ocorrem para atender a alta demanda de oxigênio pelos músculos e para regular a homeostase no momento do exercício. Os reflexos dessas mudanças no sangue são o aumento da viscosidade e menor resistência do fluxo. Notadamente nos glóbulos vermelhos são verificadas alterações nas propriedades da membrana, um aumento na rigidez e diminuição da deformabilidade e no volume da célula (Wardyn et al, 2008).

Tanto o exercício agudo máximo e submáximo aumenta a viscosidade do sangue, essa alteração é dependente da: viscosidade plasmática, hematócrito, e parâmetros estruturais associados à agregabilidade e à rigidez da célula. O aumento da viscosidade plasmática está relacionado com às mudanças envolvidas com a alteração dos fluídos corpóreos e com a concentração de proteínas no plasma (Mairbaurl et al 2013).

Algumas associações são claras, como o aumento no hematócrito é proporcional ao aumento da capacidade de transportar oxigênio. Porém, com o aumento no hematócrito ocorre também um aumento da viscosidade e da resistência do fluxo sanguíneo, o que diminui a entrega de oxigênio para os tecidos. Esta complexa relação faz com que deva existir um valor ideal de hematócrito em que a capacidade de entrega de oxigênio aos tecidos seja a máxima possível (Baskurt, O. K., Meiselman,2003).

Apesar do valor do hematócrito aumentar durante o exercício, a restauração de seu valor é rápida e muitas vezes a elevação não chega a ser evidenciada depois do exercício. Uma alteração reológica pouco comum de ser observada é o aumento da agregabilidade dos eritrócitos. Esse aumento está associado à elevação da concentração de proteínas no plasma, tais como albumina e fibrinogênio. A presença de agregados pode prejudicar a distribuição normal das células vermelhas e

a dinâmica do fluxo na microcirculação, levando a uma transferência inadequada de oxigênio para os tecidos (Vandewalle et al., 1988).

Outros estudos concluíram que *in vitro* o lactato aumenta a deformabilidade dos eritrócitos em indivíduos treinados e diminui em indivíduos não treinados. Esse resultado sugere que indivíduos bem treinados, como atletas de endurance (exercício aeróbio de longa duração), apresentam hemácias mais resistentes à ação do lactato, mostrando que os eritrócitos sofrem influência do lactato de acordo com o nível de aptidão física (Connes et al 2004).

O estresse oxidativo é outro fator que prejudica a deformabilidade dos eritrócitos. O estresse é induzido pelo aumento na produção de radicais livres durante o exercício. A deformabilidade dos eritrócitos após uma corrida de 5 km. Uma redução da deformabilidade foi encontrada associada a alterações na forma da célula, com aumento no número de células equinoides e uma alta taxa de hemólise. Junto com essas alterações foi observado um aumento na concentração de malondialdeído dentro das células vermelhas, em decorrência da lipoperoxidação, uma vez que aquele metabólito é o produto da peroxidação de ácidos graxos polinsaturados (Yang et al.,1995).

Outro fator que altera a deformabilidade durante o exercício é a quantidade de água dentro da hemácia. Cerca de 62% do conteúdo celular é água. A maior parte dessa molécula se encontra “ligada” a outras moléculas da célula e em menor quantidade (25%) “livres” dentro do eritrócito. A porcentagem de moléculas de água “ligadas” está associada à deformabilidade e ao transporte de oxigênio. Durante a realização do exercício agudo a quantidade total de água não se altera no eritrócito ou diminuiu de forma discreta, mas a porcentagem de água “livre” aumenta levando uma menor quantidade de água “ligada”, tendo como efeito uma diminuição da deformabilidade (Baskurt et al., 2007).

Com relação a todas as alterações hemorreológicas agudas relatadas, a alteração na deformabilidade é o fator mais importante a ser avaliado, pois variações nesta propriedade da célula resultam em modificações no fluxo sanguíneo nos capilares. Além disso, uma menor deformabilidade pode limitar a perfusão sanguínea (Yalcin et al., 2003).

Em conjunto, estes resultados indicam que agudamente o exercício físico promove aumento da viscosidade do sangue. Esse comportamento é resultado dos efeitos combinados de aumento da viscosidade do plasma e diminuição da deformabilidade das células vermelhas. Essas alterações podem prejudicar a microcirculação e, portanto, a liberação de oxigênio para os músculos em atividade (Connes et al 2013).

É importante destacar que as alterações hemorreológicas relatadas são modificações fisiológicas adaptativas que ocorrem durante a realização da maioria dos exercícios e não implica riscos maiores para o indivíduo. Presumidamente, tais alterações são facilmente controladas com a hidratação durante o treinamento (El-Sayed et al., 2005).

Estudos recentes demonstraram a importância do eritrócito em liberar óxido nítrico (NO) conjuntamente com o endotélio vascular, contribuindo para a vasodilatação e para uma maior deformabilidade dos eritrócitos durante o exercício, uma vez que a nitrosilação de proteínas do citoesqueleto na membrana do eritrócito parece melhorar sua deformabilidade (Grau et al., 2013).

3.2 ALTERAÇÕES HEMORREOLÓGICAS CRÔNICAS PELO EXERCÍCIO

É interessante destacar que as propriedades reológicas são alteradas em decorrência do exercício crônico. Existe uma correlação entre o aumento da capacidade aeróbia e a viscosidade sanguínea. Sendo assim, a viscosidade do plasma, o hematócrito, a agregação e a rigidez dos eritrócitos são menores em atletas quando comparados com indivíduos sedentários (El-Sayed, 2005).

São várias as adaptações proporcionadas pelo exercício que levam à melhora da hemorreologia. Sendo as principais: aumento do volume plasmático e sanguíneo; modificação nas propriedades dos eritrócitos; aumento da taxa de renovação celular; mudança na composição corporal; maior oxidação de gorduras. Após horas da realização de exercício físico ocorre um aumento do volume plasmático, o que representa uma resposta reversa da hiperviscosidade, resultando em uma “auto-hemodiluição”. O aumento do volume plasmático é acompanhado de uma diminuição no hematócrito e das proteínas plasmáticas. Com a prática regular de exercício físico esse processo se torna constante e o sangue dos indivíduos ativos e atletas se torna mais diluído quando comparado com pessoas sedentárias (Brun et al., 2007).

A primeira adaptação positiva é o aumento da deformabilidade. A melhora dessa propriedade está relacionada ao aumento do volume plasmático, ao aumento da porcentagem de água dentro do eritrócito, ao aumento da taxa de renovação celular e à diminuição da rigidez da membrana do eritrócito (Connes et al., 2013).

Além do aumento na porcentagem de água total dentro do eritrócito, ocorre um aumento na porcentagem de água “ligada” e diminuição na porcentagem de água livre. Essa modificação contribui imensamente para uma melhora na deformabilidade dos eritrócitos (Peyreigne, 1998). Uma adaptação hematológica promovida pelo exercício é o aumento da renovação celular que colabora para a melhoria nas propriedades hemorreológicas do sangue. O exercício é um fator importante e eficaz na estimulação da eritropoiese (Schmidt et al., 1988).

Os mecanismos empregados para reparar esses danos, que são os responsáveis pela estimulação da eritropoiese, tais como: hipóxia; ação hormonal; maior taxa de hemólise; maior demanda de oxigênio para os tecidos em atividade. A exposição a situações de hipóxia ocorridas durante o exercício é um estímulo para a produção de eritrócitos. A ação hormonal de cortisol e catecolaminas libera reticulócitos da medula óssea e possivelmente estimulam a eritropoiese que



também é estimulada pelo hormônio do crescimento e fatores de crescimento semelhantes à insulina que estão elevados durante o exercício (Mairbaurl, 2013).

A maior velocidade da renovação celular em decorrência da prática regular de exercício físico está estreitamente relacionada à maior taxa de hemólise intracelular (Deitrick, 1991). Durante a realização de exercício físico ocorre uma intensificação da hemólise e os mecanismos relacionados mudam de acordo com o tipo de atividade realizada. No caso de exercícios que envolvem impacto com o solo, ocorre a destruição traumática dos eritrócitos circulantes nos microvasos da região dos pés devido ao impacto com o solo.

Além do dano mecânico traumático, também é evidenciado um aumento da hemólise nos exercícios que não tem impacto (Robinson et al., 2006). Nesse caso, a hemólise pode acontecer devido a compressão dos eritrócitos na microcirculação durante a rápida contração dos grandes músculos. A idade dos eritrócitos é outro fator envolvido na hemólise. Quanto mais velha é a célula, menos resistente ao trauma ela se torna e, conseqüentemente, maior é a chance de ser lisada (Bartosz, 1991; Waugh et al 1992).

Aliado a maior taxa de hemólise que ocorre durante a realização de exercício está a maior necessidade do organismo por oxigênio. Para suprir essa demanda, células mais eficientes devem ser recrutadas (Smith, 1995; Szygula, 1990). Eritrócitos jovens possuem propriedades reológicas diferentes dos velhos. São mais deformáveis, mais fluídos e menos agregáveis, sendo assim mais eficientes para transportar oxigênio (Mairbaurl, 2013).

Os eritrócitos circulantes são menos rígidos em resposta a realização de exercício físico crônico. Essa alteração é um reflexo da diminuição de peso e do colesterol LDL e aumento do colesterol HDL (El-Sayed, 2005). As alterações dos lipídios circulantes refletem na mudança da composição lipídica das membranas, o que ajuda no aumento da sua fluidez. A prática regular de exercício altera o metabolismo dos lipídios, há uma maior taxa de oxidação dessas moléculas reduzindo na circulação os níveis de triglicerídeos e colesterol LDL. Ocorre também perda de peso que contribuem para a desagregabilidade e aumento da deformabilidade dos eritrócitos (Brun et al 2011).

4 CONCLUSÃO

O treinamento contribui para a diminuição na concentração de todos os parâmetros conhecidos em alterar a reologia do sangue. Todas as adaptações reológicas em resposta ao treinamento regular são para facilitar a transferência de O₂ e a oxigenação tecidual, o que resulta em um melhor desempenho.



REFERÊNCIAS

- BARTOSZ, G. Erythrocyte aging: physical and chemical membrane changes. *Gerontology*, v. 37, n. 1-3, p. 33-67, 1991.
- BASKURT, O. K.; MEISELMAN, H. J. Blood rheology and hemodynamics. *Semin Thromb Hemost*, v. 29, n. 5, p. 435-450, out. 2003.
- BASKURT, O. K.; HARDEMAN, M. R.; RAMPLING, M. W.; MEISELMAN, H. J. *Handbook of Hemorheology and Hemodynamics*. Amsterdam: IOS Press, 2007.
- BRUN, J. F. Exercise hemorheology as a three acts play with metabolic actors: Is it of clinical relevance? *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 26, n. 3, p. 155-174, 2002.
- BRUN, J. F.; KHALED, S.; RAYNAUD, E.; BOUIX, D.; MICALLEF, J. P.; ORSETTI, A. The triphasic effects of exercise on blood rheology: which relevance to physiology and pathophysiology? *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 19, n. 2, p. 89-104, out. 1998.
- BRUN, J. F.; CONNES, P.; VARLET-MARIE, E. Alterations of blood rheology during and after exercise are both consequences and modifiers of body's adaptation to muscular activity. *Science & Sports*, v. 22, n. 6, p. 251-266, 2007.
- BRUN, J. F.; VARLET-MARIE, E.; ROMAIN, A. J.; RAYNAUD DE MAUVERGER, E. Interrelationships among body composition, blood rheology and exercise performance. *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 49, n. 1-4, p. 183-197, 2011.
- CONNES, P.; SIMMONDS, M. J.; BRUN, J. F.; BASKURT, O. K. Exercise hemorheology: classical data, recent findings and unresolved issues. *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 53, n. 1-2, p. 187-199, 2013.
- CONNES, P. et al. New fundamental and applied mechanisms in exercise hemorheology. *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 45, n. 2-4, p. 131-141, 2010.
- CONNES, P. et al. Does exercise-induced hypoxemia modify lactate influx into erythrocytes and hemorheological parameters in athletes? *J Appl Physiol*, v. 97, n. 3, p. 1053-1058, 2004.
- COPLEY, A. L. Fluid mechanics and biorheology. *Biorheology*, v. 27, n. 1, p. 3-19, 1990.
- CONVERTINO, V. A. et al. Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, v. 50, n. 1, p. 123-128, 1981.
- DEITRICK, R. W. Intravascular haemolysis in the recreational runner. *Br J Sp Med*, v. 25, n. 4, p. 183-187, 1991.
- DE FREITAS, M. V. et al. Influence of aqueous crude extracts of medicinal plants on the osmotic stability of human erythrocytes. *Toxicol In Vitro*, v. 22, n. 1, p. 219-224, fev. 2008.
- DE ARVELOS, L. R. et al. Bivariate and multivariate analyses of the influence of blood variables of patients submitted to Roux-en-Y gastric bypass on the stability of erythrocyte membrane against the chaotropic action of ethanol. *J Membr Biol*, v. 246, n. 3, p. 231-242, mar. 2013.
- DE FREITAS, M. V. et al. Influence of the use of statin on the stability of erythrocyte membranes in multiple sclerosis. *J Membr Biol*, v. 233, n. 1-3, p. 127-134, fev. 2010.

DE SOUSA JÚNIOR, E. C. et al. Projeto caminhe conosco: efeitos do programa de atividades físicas para servidores da Secretaria de Estado de Educação do Amapá. *Aracê*, v. 7, n. 2, p. 6789-6811, 2025. DOI: 10.10.56238/arev7n2-134. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3300>. Acesso em: 13 fev. 2025.

EL-SAYED, M. S.; ALI, N.; EL-SAYED ALI, Z. Haemorheology in exercise and training. *Sports Med*, v. 35, n. 8, p. 649-670, 2005.

GRAU, M. et al. RBC-NOS-dependent S-nitrosylation of cytoskeletal proteins improves RBC deformability. *PLoS One*, v. 8, n. 2, 2013.

LEMOS, G. S. D. et al. Influence of glucose concentration on the membrane stability of human erythrocytes. *Cell Biochem Biophys*, v. 61, n. 3, p. 531-537, dez. 2011.

MAIRBAURL, H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front Physiol*, v. 4, p. 332, 2013.

PEYREIGNE, C. et al. Exercise-induced growth hormone secretion and hemorheology during exercise in elite athletes. *Clin Hemorheol Microcirc*, v. 19, n. 2, p. 169-176, 1998.

ROBINSON, Y.; CRISTANCHO, E.; BONING, D. Intravascular hemolysis and mean red blood cell age in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, v. 38, n. 3, p. 480-483, 2006.

SCHMIDT, W. et al. Training induced effects on blood volume, erythrocyte turnover and haemoglobin oxygen binding properties. *Eur J Appl Physiol*, v. 57, n. 4, p. 490-498, 1988.

SMITH, J. A. Exercise, training and red blood cell turnover. *Sports Med*, v. 19, n. 1, p. 9-31, 1995.

STEPHENSON, L. A.; KOLKA, M. A. Plasma volume during heat stress and exercise in women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 57, n. 4, p. 373-381, 1988.

SZYGULA, Z. Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training. *Sports Med*, v. 10, n. 3, p. 181-197, 1990.

VANDEWALLE, H. et al. Blood viscosity after a 1-h submaximal exercise with and without drinking. *Int J Sports Med*, v. 9, n. 2, p. 104-107, 1988.

WAUGH, R. E. et al. Rheologic properties of senescent erythrocytes: loss of surface area and volume with red blood cell age. *Blood*, v. 79, n. 5, p. 1351-1358, 1992.

WARDYN, G. G. et al. Effects of exercise on hematological parameters, circulating side population cells, and cytokines. *Exp Hematol*, v. 36, n. 2, p. 216-223, 2008.

WOOD, S. C.; DOYLE, M. P.; APPENZELLER, O. Effects of endurance training and long distance running on blood viscosity. *Med Sci Sports Exerc*, v. 23, n. 11, p. 1265-1269, 1991.

YALCIN, O. et al. Time course of hemorheological alterations after heavy anaerobic exercise in untrained human subjects. *J Appl Physiol*, v. 94, n. 3, p. 997-1002, 2003.

YANG, R. F. et al. Deformability of erythrocytes after exercise. *Biorheology*, 1995.