


EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA REOLOGIA SANGUÍNEA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-218>

Data de submissão: 18/01/2025

Data de publicação: 18/02/2025

Tálita Sabrina Pereira Santos

Graduanda em Medicina

UNIMA Centro Universitário de Maceió

E-mail: talitasabrinajor@gmail.com

Igor Sombra Silva

Médico, Mestre em Ciências da Saúde

Hospital Memorial Arthur Ramos – Rede D'Or

E-mail: 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 (Mairbaur 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 libertação 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 contribui 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 eficaz na estimulação da eritropoies (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 haver produção de eritrócito. 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 (Mairbaur, 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 (Mairbaur, 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*, 37(1-3), 33-67, 1991.
- BASKURT, O. K., MEISELMAN, H. J. Blood rheology and hemodynamics. *Semin Thromb Hemost.* Oct;29(5):435-50, 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*, 26(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.* Oct;19(2):89-104, 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.*;22(6):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*, 49(1-4), 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*, 53(1-2), 187-199, 2013.
- CONNES, P., FRANK, S., MARTIN, C., SHIN, S., AUFRADET, E., SUNOO, S., KLARA, B., RAYNAUD DE MAUVERGER, E., ROMANA, M., ROMANA, M., KANG, J., VARLET-MARIE, E., FEASSON, L., HARDY-DESSOURCES, M. D., WILHELM, B., BRUN, J. F. New fundamental and applied mechanisms in exercise hemorheology. *Clin Hemorheol Microcirc.*;45(2-4), p. 131-141, 2010.
- CONNES, P., BOUIX, D., PY, G., CAILLAUD, C., KIPPELEN, P., BRUN, J. F., VARRAY, A., PREFAUT, C., MERCIER, J. Does exercise-induced hypoxemia modify lactate influx into erythrocytes and hemorheological parameters in athletes? *J Appl Physiol*, 97(3), 1053-1058, 2004.
- COPLEY, A. L. Fluid mechanics and biorheology. *Biorheology*, 27(1), 3-19, 1990.
- CONVERTINO, V. A., KEIL, L. C., BERNAUER, E. M., & GREENLEAF, J. E. Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 50(1), 123-128, 1981.
- DEITRICK, R.W. Intravascular haemolysis in the recreational runner. *Br J Sp Med*, 25(4), 183-187, 1991.

DE FREITAS M V , NETTO RDE C , DA COSTA HUSS J C , DE SOUZA T M , COSTA J O , FIRMINO C B , PENHA-SILVA N . Influence of aqueous crude extracts of medicinal plants on the osmotic stability of human erythrocytes. *Toxicol In Vitro*. Feb;22(1):219-24, 2008.

DE ARVELOS L R , ROCHA V C , FELIX G P , DA CUNHA C C , BERNARDINO NETO M , DA SILVA GARROTE FILHO M , DE FATIMA PINHEIRO C , RESENDE E S , PENHA-SILVA N . 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*. Mar;246(3):231-42, 2013.

DE FREITAS M V , DE OLIVEIRA M R , DOS SANTOS D F , DE CASSIA MASCARENHAS NETTO R , FENELON S B , PENHA-SILVA N . Influence of the use of statin on the stability of erythrocyte membranes in multiple sclerosis . *J Membr Biol*. Feb;233(1-3):127-34, 2010.

DE SOUSA JÚNIOR, Edson Canuto; MORAIS, Paulo Jose dos Santos; E SILVA, Hilton Martins; SOARES, Claudio Afonso. PROJETO CAMINHE CONOSCO: EFEITOS DO PROGRAMA DE ATIVIDADES FÍSICAS PARA SERVIDORES DA SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DO AMAPÁ. *ARACÊ* , [S. l.], 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 feb. 2025.

EL-SAYED, M. S., ALI, N., & EL-SAYED ALI, Z. Haemorheology in exercise and training. *Sports Med*.2005, 35(8), 649-670, 2005.

GRAU, M., PAULY, S., ALI, J., WALPURGIS, K., THEVIS, M., BLOCH, W., & SUHR, F. RBC-NOS-dependent S-nitrosylation of cytoskeletal proteins improves RBC deformability. *PLoS One*, 8(2), 2013.

LEMOGS D , MARQUEZ-BERNARDES L F , ARVELOS L R , PARAÍSO L F , PENHA-SILVA N . Influence of glucose concentration on the membrane stability of human erythrocytes. *Cell Biochem Biophys*. Dec;61(3):531-7, 2011.

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

PEYREIGNE, C., BOUIX, D., MICALLEF, J. P., MERCIER, J., BRINGER, J., PREFAUT, C., & BRUN, J. F. Exercise-induced growth hormone secretion and hemorheology during exercise in elite athletes. *Clin Hemorheol Microcirc*.19(2), 169-176, 1998.

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

SCHMIDT, W., MAASSEN, N., TROST, F., & BONING, D. Training induced effects on blood volume, erythrocyte turnover and haemoglobin oxygen binding properties. *Eur J Appl Physiol*, 57(4), 490-498, 1988.

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

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

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

VANDEWALLE, H., LACOMBE, C., LELIEVRE, J. C., & POIROT, C. Blood viscosity after a 1-h submaximal exercise with and without drinking. *Int J Sports Med*, 9(2), 104-107, 1988.

WAUGH, R. E., NARLA, M., JACKSON, C. W., MUELLER, T. J., SUZUKI, T., & DALE, G. L. Rheologic properties of senescent erythrocytes: loss of surface area and volume with red blood cell age. *Blood*, 79(5), 1351-1358, 1992.

WARDYN, G. G., RENNARD, S. I., BRUSNAHAN, S. K., MCGUIRE, T. R., CARLSON, M. L., SMITH, L. M., MCGRANAGHAN, S., SHARP, J. G. Effects of exercise on hematological parameters, circulating side population cells, and cytokines. *Exp Hematol*, 36(2), 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*, 1991, 23(11), 1265-1269, 1991.

YALCIN, O., ERMAN, A., MURATLI, S., BOR-KUCUKATAY, M., & BASKURT, O. K. Time course of hemorheological alterations after heavy anaerobic exercise in untrained human subjects. *J Appl Physiol*, 94(3), 997-1002, 2003.

YANG, R.F., ZHAO, C.G., WU, Y.P., WU, X. Deformability of erythrocytes after exercise. *Biorheology*. 1995.