

Resposta da pressão de perfusão ocular no exercício físico resistido em pessoas saudáveis: revisão sistemática e metanálise

Ocular perfusion pressure response during resistance exercise in healthy individuals: systematic review and meta-analysis

Diana de Medeiros Andrade¹ , Francisco Veríssimo Perroux Lima¹ , Tamiris Schaeffer Fontoura¹ , Rafael Vidal Merola² , Marta Halfeld Ferrari Alves Lacordia³ , Mateus Camaroti Laterza¹ , Daniel Godoy Martinez¹ 

¹ Unidade de Investigação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

² Faculdade de Medicina, Centro Universitário Presidente Antônio Carlos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

³ Serviço de Oftalmologia, Hospital Universitário, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Como citar:

Andrade DM, Lima FV, Fontoura TS, Merola RV, Lacordia MH, Laterza MC, et al. Resposta da pressão de perfusão ocular no exercício físico resistido em pessoas saudáveis: revisão sistemática e metanálise. Rev Bras Oftalmol. 2025;84:e0047.

doi:

<https://doi.org/10.37039/1982.8551.20250047>

Descritores:

Exercício físico; Pressão intraocular; Fenômenos fisiológicos oculares

Keywords:

Physical exercise; Intraocular pressure; Ocular physiological phenomena

Recebido:
13/4/2024

Aceito:
9/3/2025

Autor correspondente:

Daniel Godoy Martinez
Universidade Federal de Juiz de Fora.
Rua José Lourenço Kelmer, s/n – Campus
Universitário
Bairro São Pedro – CEP: 36036-900 – Juiz
de Fora – MG.
E-mail: danielgmartinez@yahoo.com.br

Instituição de realização do trabalho:

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz
de Fora, MG, Brasil.

Fonte de auxílio à pesquisa:
trabalho não financiado.

Conflitos de interesse:
não há conflitos de interesses.

Trabalho acadêmico associado:

tese de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Educação Física
da Universidade Federal de Juiz de
Fora, defendida pela discente Diana de
Medeiros Andrade.



Copyright ©2025

RESUMO

Objetivo: Identificar o efeito agudo do exercício resistido na pressão de perfusão ocular em indivíduos saudáveis.

Métodos: As recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* foram utilizadas. As buscas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE®, Embase, Cochrane, Cinahl, Web of Science e Scopus. Estudos que avaliaram a pressão de perfusão ocular antes e após o exercício físico foram incluídos. O risco de viés foi analisado pela *Quality Assessment Tool for Before-After (Pre-Post) Studies with no Control Group*. Metanálises de efeitos aleatórios foram conduzidas para determinar o efeito do exercício físico de *handgrip* e agachamento na pressão de perfusão ocular.

Resultados: Foram encontrados 1.414 estudos dos quais 14 foram elegíveis para nossa análise. Após a realização do exercício resistido, foi observado aumento da pressão de perfusão ocular após o exercício físico de *handgrip* (11,94 mmHg; IC95% 5,54-18,33; $I^2 = 93,74\%$; $p < 0,01$) e após a realização do exercício físico de agachamento (36,66%; IC95% 29,04-44,08; $I^2 = 80,48\%$; $p < 0,01$), porém, sem mudanças significativas no fluxo sanguíneo ocular.

Conclusão: O exercício físico resistido moderado parece aumentar a pressão de perfusão ocular em indivíduos saudáveis. Entretanto, exercícios resistidos executados até a falha muscular concêntrica parecem diminuir essa variável.

ABSTRACT

Objective: To identify the acute effect of resistance exercise on ocular perfusion pressure (OPP) in healthy individuals.

Methods: The recommendations of the *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* were used. Searches were conducted in the databases: Medline, Embase, Cochrane, CINAHL, Web of Science, and Scopus. Studies that assessed OPP before and after physical exercise were included. The risk of bias was analyzed by the *Quality Assessment Tool for Before-After (Pre-Post) Studies with No Control Group*. Random effect meta-analyses were conducted to determine the effect of handgrip and squatting physical exercises on OPP.

Results: A total of 1,414 studies were found, of which 14 were eligible. After resistance exercise, an increase in OPP was observed after handgrip exercise (11.94 mmHg; 95% CI = 5.54 -18.33; $I^2 = 93.74\%$; $p < 0.01$) and after squatting exercise (36.66%; 95% CI = 29.04-44.08; $I^2 = 80.48\%$; $p < 0.01$), however, without major changes in ocular blood flow.

Conclusion: Moderate resistance exercise increases OPP in healthy individuals. However, resistance exercises performed until concentric muscular failure seems to decrease this variable.

INTRODUÇÃO

A pressão de perfusão ocular (PPO) apresenta íntima relação com a pressão arterial (PA) sistêmica,⁽¹⁾ e o exercício físico pode aumentar essa variável.⁽²⁾ Entretanto, esse aumento está relacionado à intensidade do exercício, ao agrupamento muscular e ao padrão de ventilatório.⁽³⁾ Li et al. observaram aumento da PPO com a realização de exercício isométrico de membros inferiores.⁽⁴⁾ Por outro lado, Vera et al. observam diminuição da PPO quando os exercícios foram realizados até a falha muscular, principalmente em relação à execução do agachamento para membros inferiores e o exercício de desenvolvimento para membros superiores.⁽⁵⁾ Assim, não há concordância na literatura sobre a resposta da PPO durante ou após a realização de exercício físico resistido. Dessa forma, esta revisão sistemática e metanálise vem contribuir no entendimento dessa questão.

Nosso objetivo foi avaliar a resposta aguda da pressão de perfusão ocular média (PPOm) durante a execução de exercício resistido dinâmico e isométrico, de membros superiores e inferiores, em indivíduos saudáveis.

MÉTODOS

O presente estudo seguiu as diretrizes dos *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA)⁽⁶⁾ e foram registradas no Registro Prospectivo Internacional de Revisões Sistemáticas (PROSPERO) sob o número CRD 42022373408. A questão central do estudo foi estruturada de acordo com os critérios PICOT.⁽⁷⁾

Critérios de elegibilidade

Os estudos incluídos atenderam aos seguintes critérios: informações sobre a PPOm pré, durante ou pós exercício (valores absolutos ou delta, sendo calculada pela seguinte fórmula: $(2/3)(\text{PAM}) - \text{PIO}$), estudos que apresentam informações da pressão intraocular (PIO), indivíduos jovens com PIO inferior a 21 mmHg, realização de exercícios resistidos dinâmicos ou isométricos em membros superiores e/ou inferiores. Os critérios de exclusão foram: estudos experimentais envolvendo populações não humanas, estudos que avaliam apenas pacientes com glaucoma, artigos não disponíveis em português ou inglês, estudos envolvendo indivíduos com menos de 18 anos, resumos ou anais de congresso e/ou simpósio.

Estratégia de busca

A pesquisa foi iniciada de forma sistemática nas bases de dados MEDLINE®, Embase, Cochrane, *Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature* (CINAHL), *Web of*

Science e *Scopus*. As palavras-chave para as variáveis estudadas foram “ocular perfusion pressure”, “mean ocular perfusion pressure”, “systolic ocular perfusion pressure”, “diastolic ocular perfusion pressure”, “eye perfusion pressure” e “perfusion pressure.” As palavras-chave para a intervenção estudada foram “resistance training”, “resistance exercise”, “strength training”, “strength exercise”, “isometric training”, “isometric exercise”, “handgrip training”, “handgrip exercise”, “handgrip”, and “exercise therapy”. Posteriormente, foram utilizados os seguintes termos de busca: (“ocular perfusion pressure” OR “mean ocular perfusion pressure” OR “systolic ocular perfusion pressure” OR “diastolic ocular perfusion pressure” OR “eye Perfusion pressure” OR “perfusion pressure”) AND (“resistance Training” OR “resistance exercise” OR “strength training” OR “strength exercise” OR “isometric Training” OR “isometric exercise” OR “handgrip training” OR “handgrip exercise” OR “handgrip” OR “exercise therapy”).

Seleção dos estudos

Dois pesquisadores revisaram independentemente os títulos e os resumos dos artigos identificados para inclusão. Duplicatas foram inicialmente removidas manualmente e, em seguida, para confirmação das exclusões, o *software Mendeley Reference Manager* foi utilizado. Os artigos restantes foram incluídos em uma revisão sistemática usando o *software Rayyan*. Estudos publicados até janeiro de 2023 foram incluídos. Após a triagem de títulos e resumos, os textos completos dos artigos elegíveis que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão foram avaliados.

Extração e gerenciamento de dados

A extração de dados relacionados às características dos participantes (gênero, idade, ausência de doenças cardiovasculares e oculares) e detalhes da intervenção (tipo de exercício, cálculo da média da PPOm) foram realizadas por dois autores, seguindo a estratégia PICOT (P= participante; I= intervenção; C= comparador; O= resultado; T= tipo de estudo).

Avaliação do risco de viés

O risco de viés dos estudos incluídos foi avaliado usando a *Quality Assessment Tool for Before-After (Pre-Post) Studies with no Control Group* (<https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>) desenvolvida pelo *National Heart Lung and Blood Institute*. Essa ferramenta avalia os seguintes itens: questão de pesquisa; critérios de elegibilidade e população do estudo;

representatividade dos participantes de populações clinicamente relevantes; inscrição de todos os participantes elegíveis; tamanho da amostra; descrição clara da intervenção; medidas de desfecho claramente descritas, válidas e confiáveis; cegamento dos avaliadores; taxa de acompanhamento; análise estatística; múltiplas medidas de desfecho; e intervenções no nível do grupo e desfechos no nível individual.

Síntese dos dados e análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas seguindo o Manual Cochrane para Revisões Sistemáticas de Intervenções.⁽⁸⁾ O modelo de efeitos aleatórios de DerSimonian e Laird foi empregado, reconhecendo que os estudos não estimam um único parâmetro. A meta-análise foi realizada usando o *software Stata 17.0* (STATA Corp., College Station, TX, Estados Unidos). Para cada estudo, foram extraídos dados numéricos, média, desvio-padrão e tamanho da amostra, considerando diferença média (DM) e intervalo de confiança (IC) de 95%. Nível de significância de $p < 0,05$ foi estabelecido. A heterogeneidade entre os estudos foi avaliada usando o teste Q de Cochran e o teste de inconsistência I^2 . Os resultados são ilustrados usando gráficos de *forest plot*.

RESULTADOS

Foram identificados 1.426 estudos por meio de buscas em bases de dados. Após a triagem, 12 artigos duplicados foram excluídos, restando 1.414 estudos. Após a revisão dos resumos, 107 artigos de revisão, 181 estudos com populações exclusivas de pacientes com glaucoma, 78 estudos com animais e 997 estudos sem exercício físico foram excluídos, resultando em 51 estudos remanescentes. Entre eles, não foi encontrado o texto completo de oito deles. Dos 43 artigos restantes a serem lidos na íntegra, 29 foram excluídos: 3 estudos envolvendo exercícios aeróbicos, 2 editoriais, 1 não relacionado ao exercício físico, 1 estudo em língua francesa, 1 estudo com pacientes exclusivos de glaucoma e 21 estudos que avaliaram apenas a PIO. Isso resultou em 14 estudos elegíveis para a revisão sistemática. A seleção dos artigos para a meta-análise foi baseada na semelhança dos protocolos de exercício usados (Figura 1).

Características do estudo

As características demográficas dos estudos são apresentadas na tabela 1. No total, 350 sujeitos foram investigados a respeito da PPOm após exercício resistido. As amostras consistiram em homens e mulheres, com a média de idade variando de 18 a 57 anos.

Tabela 1. Características demográficas dos estudos selecionados

Autor	País	Grupos (n/ sexo)	Idade (anos)
Riva et al. ⁽⁹⁾	Suíça	11 homens	18-57
Schmidl et al. ⁽¹⁰⁾	Áustria	24 homens e 24 mulheres	19-35
Boltz et al. ⁽¹¹⁾	Áustria/Romênia	20 homens e 20 mulheres	18-35
Witkowska et al. ⁽¹²⁾	Áustria/Romênia/Singapura	11 homens e 16 mulheres	18-34
Popa-Cherecheanu et al. ⁽¹³⁾	Áustria/Singapura	9 homens e 9 mulheres	26,1 ± 3,9
Kiss et al. ⁽¹⁴⁾	Áustria	20 homens	19-34
Beck et al. ⁽¹⁵⁾	Estados Unidos	17	-
Zhang et al. ⁽¹⁶⁾	Estados Unidos	3 homens e 1 mulher	25-36
Boltz et al. ⁽¹⁷⁾	Áustria/Romênia	20 homens e 20 mulheres	19-35
Banerjee et al. ⁽¹⁸⁾	Índia	20	45-65
Ramya et al. ⁽¹⁹⁾	Índia	20 homens e 20 mulheres	18-21
Vera et al. ⁽²⁰⁾	Espanha/Chile	7 homens e 13 mulheres	19,5 ± 1,6 para os homens 19,0 ± 2,4 para os homens
Vera et al. ⁽²¹⁾	Espanha/Chile/Estados Unidos	17 homens	23 ± 3,1
Vera et al. ⁽⁵⁾	Espanha	13 homens e 12 mulheres	23,6 ± 3,7 para os homens 21,4 ± 2,7 para os homens

Em relação ao protocolo de exercício, a maioria avaliou agachamento⁽⁹⁻¹⁴⁾ e exercícios de preensão palmar (*handgrip*).⁽¹⁵⁻¹⁸⁾ Apenas um estudo utilizou o exercício *back-leg lift*.⁽¹⁹⁾ um estudo usou o exercício de desenvolvimento, rosca bíceps, exercício de panturrilha e agachamento;⁽⁵⁾ um estudo utilizou rosca bíceps e agachamento;⁽²⁰⁾ e um estudo usou o supino⁽²¹⁾ (Tabela 2).

Onze estudos mostraram aumento significativo na PPOm durante e após a realização dos exercícios;⁽⁹⁻¹⁹⁾ dois estudos demonstraram diminuição na PPOm após o exercício;^(5,21) e apenas um estudo mostrou nenhuma mudança nos valores da variável⁽²⁰⁾ (Tabela 3).

Em relação ao risco de viés, sete estudos apresentaram risco moderado^(5,9,13, 15,16,17,21) e sete apresentaram risco baixo.^(10,11,12,14,18,19,20)

Efeito agudo do exercício resistido na pressão de perfusão ocular média

Dos 14 estudos inseridos na revisão sistemática, sete foram elegíveis para meta-análise por realizarem protocolo de exercício isométrico. Sete não entraram na meta-análise por diversos motivos: não forneceram dados de linha de base em termos de média e desvio-padrão,^(9,14) avaliaram exercícios dinâmicos,^(5,20) avaliaram o exercício de elevação de *back-leg lift*,⁽¹⁹⁾ avaliaram o exercício de supino,⁽²¹⁾ e conduziram o exercício de *handgrip* por uma duração mais longa que os outros.⁽¹⁵⁾

Tabela 2. Protocolos de exercício dos estudos selecionados

Autor	Tipo de exercício	Exercício	Intensidade Volume
Riva et al. ⁽⁹⁾	Isométrico	Agachamento	- 90 segundos
Schmidl et al. ⁽¹⁰⁾	Isométrico	Agachamento	- 6 minutos
Boltz et al. ⁽¹¹⁾	Isométrico	Agachamento	- 6 minutos
Witkowska et al. ⁽¹²⁾	Isométrico	Agachamento	- 6 minutos
Popa-Cherecheanu et al. ⁽¹³⁾	Isométrico	Agachamento	6 minutos
Kiss et al. ⁽¹⁴⁾	Isométrico	Agachamento	- 6 minutos
Beck et al. ⁽¹⁵⁾	Isométrico	Handgrip	20% CVM 10 minutos
Zhang et al. ⁽¹⁶⁾	Isométrico	Handgrip ("stress ball")	Força máxima 1 minuto
Boltz et al. ⁽¹⁷⁾	Isométrico	Handgrip	75% CVM
Banerjee et al. ⁽¹⁸⁾	Isométrico	Handgrip	30% CVM 2 minutos
Ramya et al. ⁽¹⁹⁾	Isométrico	Back-leg lift	40% CVM Até fadiga
Vera et al. ⁽²⁰⁾	Dinâmico	Agachamento (68,7 ± 20,5 kg) Rosca bíceps (22,6 ± 7,1 kg)	10 repetições de 10-RM
Vera et al. ⁽²¹⁾	Dinâmico	Supino -65% RM -75% RM -85% RM -95% RM	4 séries até a falha muscular
Vera et al. ⁽⁵⁾	Dinâmico	Agachamento (75 ± 17,7 kg) Desenvolvimento (16,3 ± 6,8 kg) Rosca bíceps (8,0 ± 2,8 kg) Panturrilha (70 ± 18,6Kg)	10 repetições de 10-RM

CVM: contração voluntária máxima; RM: repetições máximas.

A figura 2 apresenta o gráfico de *forest plot* para a sessão de exercício isométrico de preensão de mãos (*handgrip*) sobre a PPOm em indivíduos saudáveis. Houve um aumento significativo na PPOm durante a sessão de exercício (11,94 mmHg; IC95% 5,54-18,33; $I^2 = 93,74\%$; $p = 0,00$). Entretanto, os protocolos utilizados para mensuração da PA e da PIO foram divergentes entre os estudos, o que poderia afetar a interpretação dos valores do cálculo da PPOm. Além disso, um dos estudos⁽¹⁶⁾ apresentou o cálculo da PPOm utilizado para a posição sentada, embora tenha realizado o protocolo na posição supina.

A figura 3 mostra o gráfico de *forest plot* para a sessão de exercício de agachamento sobre a PPOm em indivíduos saudáveis. Houve um aumento significativo na PPOm durante a sessão de exercício físico (36,66%; IC95% 29,04-44,08; $I^2 = 80,48\%$; $p = 0,00$). Cabe ressaltar que todos os estudos incluídos para essa metanálise utilizaram o método oscilométrico para mensuração da PA e o tonômetro de aplanção de Goldman para mensuração da PIO calculando a PPOm durante e após os protocolos de exercício.

DISCUSSÃO

O principal resultado encontrado nesta revisão sistemática e metanálise foi o aumento da PPOm durante a realização de exercício resistido, seja com maior (agachamento)

Tabela 3. Resposta da pressão de perfusão ocular média durante e após o exercício físico

Autor	PIO pré/pós-exercício (mmHg)	PPOm pré/pós-exercício (mmHg)	Valor de p (PPOm)	Momento de mensuração
Riva et al. ⁽⁹⁾	12,4 ± 2,4 / 11 ± 2	46 ± 2,5 / 77 ± 7	$p < 0,01$	Durante
Schmidl et al. ⁽¹⁰⁾	PIO medida antes e após (calculada usando análise de regressão linear) Valores não relatados no estudo	↑ aproximadamente 80%	$p < 0,01$	Durante
Boltz et al. ⁽¹¹⁾	PIO medida antes e após (calculada usando análise de regressão linear) Valores não relatados no estudo	↑ 66,4% ± 22,4%	$p < 0,001$	Durante
Witkowska et al. ⁽¹²⁾	PIO medida apenas no basal; 15,0 ± 2,4	↑ 78,5% ± 19,8%	$p < 0,001$	Durante
Popa-Cherecheanu et al. ⁽¹³⁾	13 ± 2; PIO medida apenas no basal	↑ 61,3% ± 4,9%	$p < 0,05$	Durante
Kiss et al. ⁽¹⁴⁾	12,4 ± 10,5/17,2 ± 14,7	↑ 69% (normocapnia) ↑ 70% (hipercapnia)	*	Durante
Beck et al. ⁽¹⁵⁾	14,2 ± 0,5/12,2 ± 0,4	42 ± 3 / 50 ± 3	$p < 0,01$	Durante
Zhang et al. ⁽¹⁶⁾	11 ± 3 / 11 ± 3	67 ± 4 / 84 ± 1	$p < 0,01$	Durante
Boltz et al. ⁽¹⁷⁾	13,9 ± 1,4/13,5 ± 1,2	44 ± 5,3 / 57,1 ± 7,5	$p < 0,001$	Durante
Banerjee et al. ⁽¹⁸⁾	PIO medida apenas no basal; 15,4 ± 1,9	45,96 ± 1,89 / 52,23 ± 3,59	$p < 0,000$	Durante
Ramya et al. ⁽¹⁹⁾	PIO medida apenas no basal; 16,3 homens e 16,14 mulheres	Homens: 50,58 ± 0,7 / 56,71 ± 1,1 Mulheres: 49,35 ± 1,6 / 56,71 ± 1,6	$p < 0,05$	Imediatamente após
Vera et al. ⁽²⁰⁾	Agachamento: 15,7 ± 15,3/20,2 ± 20,6 Desenvolvimento: 15,3 ± 14,8/19,5 ± 20,1	↔ (dados não explícitos no texto)	$p = 0,492$	Durante
Vera et al. ⁽²¹⁾	65%: 14,8 ± 2,0/14,9 ± 1,9 75%: 14,5 ± 2,0/15,4 ± 2,3 85%: 14,3 ± 1,8/15,7 ± 2,5 95%: 14,1 ± 2,1/17,0 ± 2,5	65%: 51,6 ± 6,2 / 49,6 ± 6,1 75%: 51,6 ± 5 / 51,1 ± 3,5 85%: 52,4 ± 6,3/ 51,6 ± 4,8 95%: 53,6 ± 5,6/51,7 ± 5,6	$p = 0,009$	Imediatamente após
Vera et al. ⁽⁵⁾	Agachamento: 15,2 ± 14,6/20,6 ± 20 Rosca bíceps: 15,8 ± 16,3/19,2 ± 19,9 Desenvolvimento: 15,7 ± 16,2/18,3 ± 17,8 Panturrilha: 16,2 ± 16,6/17,5 ± 16,7	Agachamento: 49,2 ± 48/45,6 ± 47,1 Rosca bíceps: 49,3 ± 50,5/46,6 ± 47,6 Desenvolvimento: 49,5 ± 50,5/47,4 ± 48,6 Panturrilha: 49,7 ± 50,8/48,5 ± 49,7	$p < 0,001$	Imediatamente após

* Não informado.

↑ aumento; ↔ manutenção; ↓ diminuição; Δ delta.

PIO: pressão intraocular.

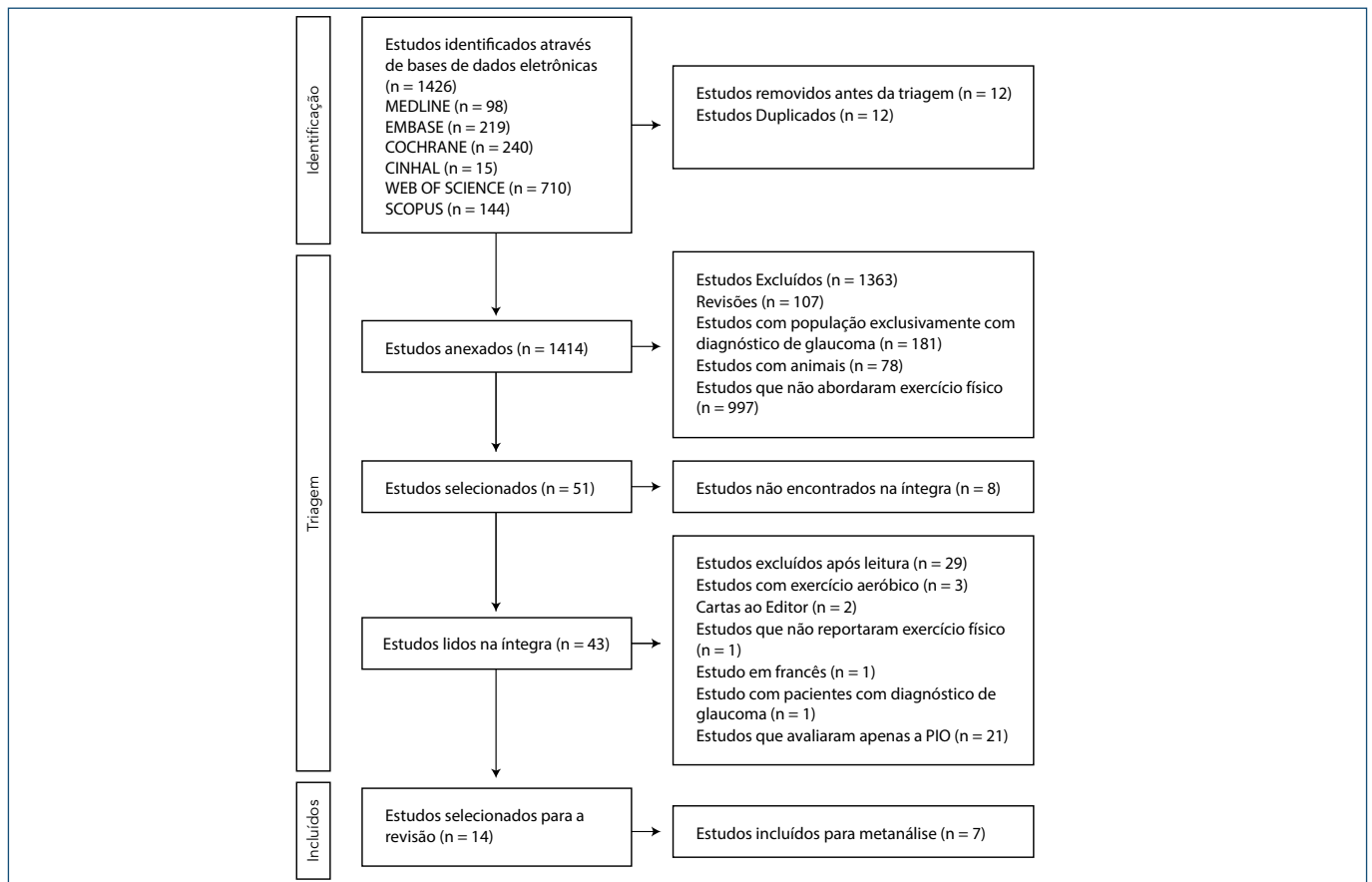


Figura 1. Fluxograma dos estudos.

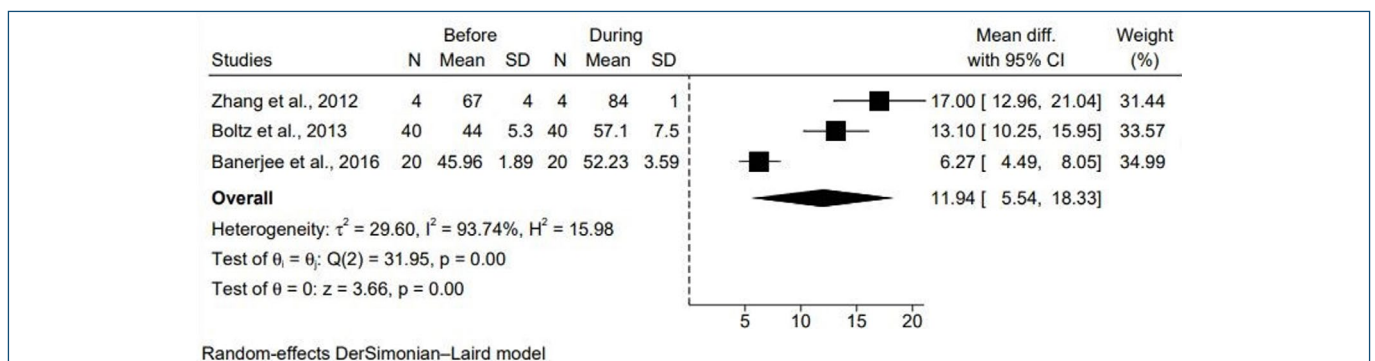


Figura 2. Gráfico de *forest plot* para a sessão exercício isométrico de mãos (*handgrip*) sobre a pressão de perfusão ocular em indivíduos saudáveis.

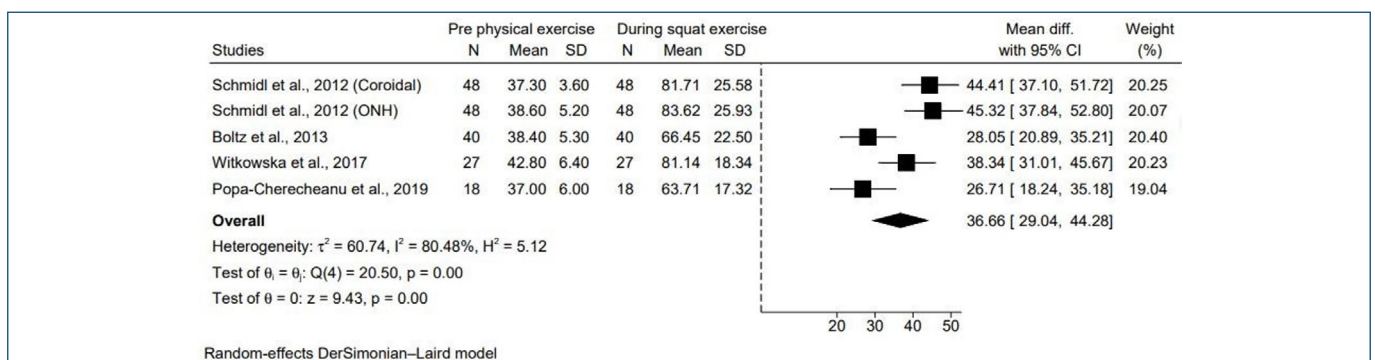


Figura 3. Gráfico de *forest plot* para a sessão de exercício de agachamento sobre a pressão de perfusão ocular em indivíduos saudáveis.

ou menor (preensão de mãos) massa muscular. Durante o exercício isométrico, tanto a PA quanto a PPO tendem a aumentar paralelamente,⁽²²⁾ e exercícios isométricos que envolvem grupos musculares maiores induzem respostas agudas de PA de magnitudes maiores em comparação àqueles que envolvem massas musculares menores, sendo o agachamento um exercício que envolve os principais grupos musculares.⁽²³⁾

Na presente revisão, foram incluídos estudos que mediram a PPOm durante e após exercícios de agachamento, como o estudo de Riva et al., que observaram que aumento de 67% na PPOm levou a um aumento na resistência vascular, o que limita o fluxo sanguíneo coroidal, confirmando a autorregulação durante a execução desse exercício. No entanto, os autores também perceberam que esse processo autorregulatório falha quando a PPOm aumenta além dessa porcentagem.⁽⁹⁾ Esse fenômeno também foi observado por Kiss et al., que avaliaram o agachamento isométrico durante a normocapnia e a inalação de 5% de dióxido de carbono e descobriram que o fluxo sanguíneo ocular aumentou apenas quando a PPOm aumentou em 69% durante a normocapnia e 70% durante a hipercapnia.⁽¹⁴⁾

Schmidl et al. também observaram a autorregulação durante o exercício de agachamento e elevação artificial da PIO em 96 indivíduos saudáveis. Embora os autores não tenham explicitamente relatado os valores de PIO, eles informaram que a variável foi medida antes e após a realização do exercício e que, durante o agachamento, os valores de PIO foram calculados usando análise de regressão linear. Ao longo de todos os experimentos, a resposta no fluxo sanguíneo foi menos pronunciada do que os aumentos na PPOm, sugerindo regulação local do fluxo.⁽¹⁰⁾ De forma semelhante, Boltz et al., utilizando a fluxometria por laser *Doppler*, investigaram a resposta do fluxo sanguíneo no nervo óptico. Isso foi feito durante um aumento separado na PIO e na PAM, bem como durante uma elevação combinada de ambas as variáveis, em 40 indivíduos saudáveis. A elevação da PAM foi alcançada por meio de exercícios de agachamento isométrico, e a elevação da PIO foi induzida usando métodos de sucção. Em ambos os protocolos, a mudança no fluxo sanguíneo na cabeça do nervo óptico foi menos pronunciada do que o aumento na PPOm, indicando autorregulação. Além disso, eles observaram melhor regulação do fluxo durante aumentos na PA comparado aos aumentos na PIO.⁽¹¹⁾ Nesse estudo, os valores de PIO durante o exercício também foram calculados usando análise de regressão linear, valores não relatados no estudo.

Em um estudo semelhante, Popa-Cherecheanu et al. também investigaram a regulação do fluxo sanguíneo ocular durante mudanças combinadas na PA, alcançadas por meio de exercício de agachamento isométrico, e na PIO, aumentada artificialmente usando métodos de sucção. Os autores observaram que a PPOm aumentou apenas no dia em que o exercício foi realizado sem a elevação artificial da PIO, levando-os a concluir que a regulação do fluxo sanguíneo ocular durante os aumentos da PPOm é um mecanismo complexo e tem menos capacidade de se adaptar à PIO elevada em comparação com o aumento da PA.⁽¹³⁾

Como observado por Kiss et al.⁽¹⁴⁾ e Riva et al.⁽⁹⁾ e posteriormente apoiado por Witkowska et al.,⁽¹²⁾ os autores também observaram autorregulação, notando que o fluxo sanguíneo na cabeça do nervo óptico começa a aumentar aproximadamente a aumentos de 50% na PPOm durante o exercício de agachamento.⁽¹²⁾

No entanto, Vera et al. avaliaram exercícios realizados de forma dinâmica e até a falha muscular. Os exercícios avaliados incluíram agachamentos, exercício de desenvolvimento para membros superiores (*military press*), rosca bíceps e exercícios para panturrilha. Os autores observaram um aumento progressivo na PIO após os exercícios, o qual era dependente do tipo de exercício. Exercícios de agachamento induziram incrementos maiores na PIO em comparação com os outros exercícios. Por outro lado, a PPOm mostrou redução significativa quando os exercícios foram realizados até a fadiga muscular.⁽⁵⁾

O aumento na PA causado pelo exercício está relacionado à intensidade, ao número de séries e à carga mobilizada no exercício, além do padrão respiratório utilizado durante o exercício.⁽³⁾ Portanto, a PPOm possivelmente exibe uma resposta semelhante à PA durante a execução do exercício. No entanto, Vera et al. avaliaram a influência dos padrões respiratórios no aumento da PIO e da PPOm após exercícios de resistência dinâmicos, como agachamentos e rosca bíceps. Os autores não observaram aumentos significativos na PPOm após os exercícios e não encontraram influência do padrão respiratório.⁽²⁰⁾

Quando os exercícios envolvem grupos musculares menores, a resposta da PPOm parece exibir as mesmas influências que a resposta da PA, como observado no estudo de Beck et al. Eles notaram um aumento na PPOm durante exercícios de preensão manual, atribuído ao aumento da PA e ao aumento da resistência vascular da artéria oftálmica. Nesse estudo, os autores confirmaram uma diminuição na PIO após o exercício.⁽¹⁵⁾ Isso está de acordo com os achados de Zhang et al., que também observaram

aumento na PPOm após exercícios de preensão manual sem mudanças na PIO.⁽¹⁶⁾ Entretanto, o estudo de Zhang et al.⁽¹⁶⁾ merece atenção, pois a PIO foi mensurada por meio da *Tono-Pen XL* (Reichert Inc., Depew, Nova Iorque, Estados Unidos) na posição supina devido à concomitante análise do fluxo sanguíneo da retina por meio da ressonância neuromagnética, diferenciando a forma de medida da PIO entre os demais estudos da metanálise. Outra ressalva ao estudo de Zhang et al.⁽¹⁶⁾ é com relação ao cálculo da PPOm, em que os autores utilizaram a fórmula PAM-PIO. Sabidamente, na posição supina, a PPOm deveria ter sido calculada pela fórmula $PPOm = (115/130 \text{ PAM}) - PIO$.⁽²⁴⁾ Assim, a interpretação e a comparação da PPOm desse estudo devem ser realizadas com cautela.

Apesar da autorregulação ser evidente nos relatos de vários estudos mencionados até agora, Boltz et al. observaram aumento na PPOm após exercício isométrico a 75% da contração voluntária máxima (CVM) em 40 indivíduos saudáveis. Os autores notaram que a autorregulação ocorreu durante o aumento da PPOm, embora um subgrupo de seis indivíduos tenha demonstrado respostas autorregulatórias diferentes.⁽¹⁷⁾ Embora o cálculo da PPOm dependa diretamente dos valores da PIO, os autores não mediram essa variável durante o exercício, uma vez que, em estudo anterior em que os próprios autores avaliaram exercício mais intenso como o agachamento, os efeitos na PIO foram consideravelmente pequenos.⁽¹¹⁾

É importante notar que, nesse estudo, a carga usada tenha sido relativamente maior quando comparada ao estudo de Banerjee et al., que também observaram um aumento na PPOm após exercício de preensão manual, mas a 30% da CVM em indivíduos saudáveis, e esses valores foram significativamente maiores quando comparados a pacientes com glaucoma.⁽¹⁸⁾ Notoriamente, nesse estudo, os autores relataram apenas a medida da PIO no basal, não ficando claro a realização da medida dessa variável durante ou após o exercício físico, podendo ter subestimado a PPOm, principalmente nos voluntários saudáveis. Além disso, a aferição da PA foi realizada por meio do método auscultatório, diferentemente dos demais artigos incluídos na metanálise.

Embora utilizando o exercício de *back-leg lift*, Ramya et al. também observaram aumento na PPOm após sua execução a 40% da CVM.⁽¹⁹⁾ Por outro lado, Vera et al. investigaram a PPOm após exercícios isotônicos de supino realizados até a falha muscular e observaram redução na PPO.⁽²¹⁾ Semelhantemente ao que foi observado em outro estudo dos mesmos autores, que também avaliaram exercícios até a falha muscular.⁽⁵⁾

Embora o mecanismo de autorregulação da PPO esteja presente em grande parte dos indivíduos, é importante ressaltar que podem ocorrer duas situações extremas em que a autorregulação não ocorrerá de forma esperada na população: quando o indivíduo apresenta PPO muito baixa; e em pacientes com alteração no endotélio vascular, presença de aterosclerose e/ou ocorrência de vasoespasmos que apresentam prejuízo do suprimento no fluxo sanguíneo e de nutrientes para os tecidos e órgãos.⁽²⁵⁾

Dessa forma, a execução de exercício resistidos até a falha muscular deve ser realizada com cautela, principalmente na presença de PPO baixa, doenças oculares como patologias de fundo de olho, ceratocone e presença de alterações no endotélio vascular, como na hipertensão arterial e no *diabetes mellitus*.

Mais estudos sobre a autorregulação na população geral devem ser conduzidos a fim de estratificar grupos de risco para patologias oculares.

Limitações do estudo

Uma importante limitação da presente revisão sistemática é a alta heterogeneidade metodológica observada entre os estudos incluídos. Tal aspecto pode ser justificado por falta de dados explícitos dos valores ou da mensuração da PIO durante o exercício; estimativa da PIO durante o exercício por regressão linear; diferentes métodos de mensuração da PIO e da PA; fórmulas diferentes de cálculo da PPOm a depender da posição corporal e protocolos distintos de exercício físico. Adicionalmente, o número relativamente pequeno de trabalhos incluídos na metanálise pode ser fator responsável pela alta heterogeneidade. Porém, a busca de estudos na literatura foi realizada nas principais bases de dados mundiais, utilizando diversos termos e intertermos para o binômio da pesquisa e sem recorte temporal. Esses aspectos fortalecem o método do presente estudo.

De toda forma, a presente revisão sistemática e metanálise contribui justamente ao demonstrar esse aspecto aos pesquisadores e clínicos. Dada essa questão, novos estudos clínicos, bem delineados, controlados e randomizados considerando esses fatores são necessários para o avanço do conhecimento na oftalmologia e no exercício físico, em especial na resposta fisiológica da PPOm durante e após o exercício físico.

CONCLUSÃO

O exercício físico resistido moderado parece aumentar a pressão de perfusão ocular em indivíduos saudáveis.

Entretanto, exercícios resistidos executados até a falha muscular concêntrica parecem diminuir essa variável.

Contribuição dos autores

Andrade D.M. contribuiu na concepção e delineamento do estudo, análise e interpretação dos resultados, redação e revisão crítica do conteúdo do manuscrito. Lima F.V.P., Fontoura T.S., Laterza M.C. e Martinez D.G. contribuíram na análise e interpretação dos dados, redação e revisão crítica do conteúdo do manuscrito. Merola R.V e Lacordia M.H.F.A. contribuíram na redação e revisão crítica do conteúdo do manuscrito. Todos os autores aprovaram a versão final do manuscrito e são responsáveis por todos os seus aspectos, incluindo a garantia de sua precisão e integridade.

REFERÊNCIAS

1. Riva CE, Grunwald JE, Petrig BL. Autoregulation of human retinal blood flow. An investigation with laser Doppler velocimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986;27(12):1706-12.
2. Kilbom A, Brundin T. Circulatory effects of isometric muscle contractions, performed separately and in combination with dynamic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1976;36(1):7-17.
3. Polito MD, Farinatti PT V. Respostas de frequência cardíaca, pressão arterial e duplo-produto ao exercício contra-resistência: uma revisão da literatura. *Rev Portuguesa Ciênc Desporto.* 2003;3(1):79-91.
4. Li Y, Li S, Wang Y, Zhou J, Yang J, Ma J. Effects of isometric resistance exercise of the lower limbs on intraocular pressure and ocular perfusion pressure among healthy adults: A meta-analysis. *J Fr Ophtalmol.* 2021;44(10):1596-604.
5. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Torrejón A, De Moraes CG, García-Ramos A. Effect of the level of effort during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(3):394-401.
6. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71.
7. Santos CM, Pimenta CA, Nobre MR. A estratégia pico para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. *Rev Lat Am Enfermagem.* 2007;15(3):508-11.
8. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. 2nd ed. Wiley/Balckwell; 2019.
9. Riva CE, Titze P, Hero M, Movaffaghy A, Petrig BL. Choroidal blood flow during isometric exercises. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997;38(11):2338-43.
10. Schmidl D, Boltz A, Kaya S, Werkmeister R, Dragostinoff N, Lasta M, et al. Comparison of choroidal and optic nerve head blood flow regulation during changes in ocular perfusion pressure. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(8):4337-46.
11. Boltz A, Schmidl D, Werkmeister RM, Lasta M, Kaya S, Palkovits S, et al. Regulation of optic nerve head blood flow during combined changes in intraocular pressure and arterial blood pressure. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2013;33(12):1850-6.
12. Witkowska KJ, Bata AM, Calzetti G, Luft N, Fondi K, Wozniak PA, et al. Optic nerve head and retinal blood flow regulation during isometric exercise as assessed with laser speckle flowgraphy. *PLoS One.* 2017;12(9):e0184772.
13. Popa-Cherecheanu A, Schmidl D, Werkmeister RM, Chua J, Garhöfer G, Schmetterer L. Regulation of choroidal blood flow during isometric exercise at different levels of intraocular pressure. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(1):176-82.
14. Kiss B, Dallinger S, Polak K, Findl O, Eichler HG, Schmetterer L. Ocular hemodynamics during isometric exercise. *Microvasc Res.* 2001;61(1):1-13.
15. Beck D, Harris A, Evans D, Martin B. Ophthalmic arterial hemodynamics during isometric exercise. *J Glaucoma.* 1995;4(5):317-21.
16. Zhang Y, Emeterio Nateras OS, Peng Q, Rosende CA, Duong TQ. Blood flow MRI of the human retina/choroid during rest and isometric exercise. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(7):4299-305.
17. Boltz A, Told R, Napora KJ, Palkovits S, Werkmeister RM, Schmidl D, et al. Optic nerve head blood flow autoregulation during changes in arterial blood pressure in healthy young subjects. *PLoS One.* 2013;8(12):e82351.
18. Banerjee A, Khurana I, Dhull CS. Effect of ocular perfusion pressure on isometric handgrip test in patients with primary open angle glaucoma (POAG): A test for autonomic activity. *Indian J Physiol Pharmacol.* 2016;60(5):76-7.
19. Ramya CM, Nataraj SM, Rajalakshmi R, Smitha MC. Changes in ocular perfusion pressure in response to short term isometric exercise in young adults. *Niger J Physiol Sci.* 2018;33(1):101-3.
20. Vera J, Perez-Castilla A, Redondo B, De La Cruz JC, Jiménez R, García-Ramos A. Influence of the breathing pattern during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci.* 2020;20(2):157-65.
21. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Torrejón A, de Moraes CG, García-Ramos A. Impact of resistance training sets performed until muscular failure with different loads on intraocular pressure and ocular perfusion pressure. *Eur J Ophthalmol.* 2020;30(6):1342-8.
22. Riva CE, Titze P, Hero M, Movaffaghy A, Petrig BL. Choroidal blood flow during isometric exercises. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997;38(11):2338-43.
23. Coneglian JC. Resposta aguda da pressão arterial a diferentes tipos de exercício isométrico: uma revisão sistemática com metanálise [tese]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-Graduação em Educação Física; 2021.
24. Costa VP, Harris A, Anderson D, Stodtmeister R, Cremasco F, Kergoat H, et al. Ocular perfusion pressure in glaucoma. *Acta Ophthalmol.* 2014;92(4):e252-66.
25. Schmetterer L, Kiel JW, editors. Ocular blood flow. New York: Springer; 2012.