

Efeito agudo do pré-condicionamento isquêmico no tempo de desempenho Fran, na frequência cardíaca e na pressão arterial em homens normotensos praticantes de *crosstraining*

Acute effect of ischemic preconditioning on Fran performance time, heart rate, and blood pressure in normotensive men who practice crosstraining

Natália Rodrigues dos Reis^{1*} , Leila Dal Poggetto Moreira² , Leandro Sant'Ana¹ , Jefferson da Silva Novaes³ , Aline Aparecida de Souza Ribeiro¹ , Jeferson Macedo Vianna¹ 

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar o efeito agudo do pré-condicionamento isquêmico no tempo de desempenho *fran*, na frequência cardíaca, na pressão arterial sistólica, na pressão arterial diastólica e a correlação entre estas variáveis. Doze homens realizaram 3 visitas. Uma familiarização, 2 com sessões randomizadas: a) PCI (3x5 min. 220 mmHg) + 30 min. intervalo + *fran*; b) SHAM (3x5 min. 20 mmHg) + 30 min. + *fran*. Mediu-se FC, PAS e PAD em repouso (rep.) e nos 1º, 5º e 10º min. de recuperação (rec.), pelo monitor MAPA. *Fran* é um treino de *crosstraining* que consiste em completar 21-15-9 *Reps For Time* de *thruster* (95 lb) e *pull-Ups* no menor tempo possível. Para a análise do tempo no *fran*, utilizou-se ANOVA two-way para FC, PAS e PAD. Adotou-se $p \leq 0,05$. Observou-se uma redução na FC nos três momentos de recuperação, sem diferença significativa entre PCI/SHAM. Redução na PAS em rec., com redução significativa em PCI no 1º minuto. Redução na PAD em rec., com redução significativa em PCI no 5º minuto. Sem diferença estatisticamente significativa no tempo de desempenho *fran*. Correlação moderada da PAS e PAD, no 1º minuto de recuperação SHAM. Forte correlação entre PAS e PAD, no 1º minuto de recuperação PCI. Sem diferença estatística no tempo de desempenho *fran*, PCI com comportamento mais eficiente nas respostas hemodinâmicas.

PALAVRAS-CHAVE: desempenho; hemodinâmica; oclusão vascular.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the acute effect of ischemic preconditioning on *fran* performance time, heart rate, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, and the correlation between these variables. Twelve men completed 3 visits. One for familiarisation and 2 with randomised sessions: a) IPC (3x5 min, 220 mmHg) + 30 min interval + *fran*; b) SHAM (3x5 min, 20 mmHg) + 30 min + *fran*. Heart rate, systolic and diastolic blood pressure were measured at rest and at the 1st, 5th, and 10th minutes of recovery using the MAPA monitor. *Fran* is a CrossTraining workout consisting of completing 21-15-9 reps for time of thrusters (95 lb) and pull-ups as quickly as possible. Two-way ANOVA was used to analyse *fran* time, heart rate, systolic and diastolic blood pressure. A significance level of $p \leq .05$ was adopted. A reduction in heart rate was observed at all three recovery points, but no significant difference between IPC/SHAM. Reduction in systolic blood pressure at all three recovery points, with a significant reduction in IPC at the 1st minute. Reduction in DBP at the three moments of recovery, with a significant reduction in IPC at the 5th minute. No statistical difference in the *fran* performance time. Moderate correlation between SBP and DBP at the 1st minute of SHAM recovery. Strong correlation between SBP and DBP at the 1st minute of IPC recovery. No statistical difference in *fran* performance time, IPC showing more efficient behaviour in hemodynamic responses.

KEYWORDS: performance; hemodynamics; vascular occlusion.

¹Universidade Federal de Juiz de Fora – Juiz de Fora (MG), Brasil.

²Universidade Anhembi Morumbi – São Paulo (SP), Brasil.

³Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

*Autor correspondente: natyrrreis@hotmail.com

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Recebido: 22/07/2025. **Aceite:** 30/11/2025.

INTRODUÇÃO

O pré-condicionamento isquêmico (PCI) consiste em episódios de isquemia seguido por episódios de reperfusão (I/R) (Przyklenk et al., 1993). Este tem sido usado antes de testes esportivos visando maximizar o desempenho. Alguns estudos mostraram que o PCI mostrou resultados positivos no desempenho em modalidades como corrida (Paull & Van Guilder, 2019), remo, mergulho (Kjeld et al., 2014), judô (Ribeiro et al., 2019) e no exercício resistido (Novaes et al., 2020; Panza et al., 2020). No entanto, outros estudos apresentaram resultados negativos em modalidades como ciclismo (Paixão et al., 2014) ou nenhum efeito sobre o desempenho na patinação (Richard & Billaut, 2018), no ciclismo (Griffin et al., 2018; Lalonde & Curnier, 2015) e no exercício intermitente de alta intensidade (Marocolo et al., 2017).

Em relação às variáveis hemodinâmicas, foi verificado o efeito agudo do PCI aplicado antes da prática esportiva na frequência cardíaca (FC), pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) (Garcia et al., 2017; Groot et al., 2010; Kaur et al., 2017; Lopes et al., 2018; Marocolo et al., 2017; Ribeiro et al., 2019; Richard & Billaut, 2018). A aplicação do PCI em ciclistas (Groot et al., 2010) e judocas (Ribeiro et al., 2019) aumentaram o desempenho e não alterou a frequência cardíaca máxima (FC_{max}), a PAS e a PAD. No entanto, estudos realizados com corredores (Kaur et al., 2017), com jogadores de sub-élite de rugby (Garcia et al., 2017) e com patinadores de velocidade (Richard & Billaut, 2018) não aumentaram o desempenho e não alteraram a FC. Por fim, Lopes et al. (2018) relataram que o PCI antes de exercícios de sprints melhorou a recuperação autonômica cardíaca de curto prazo, após o exercício, observado pela redução da FC.

Paine et al. (2010) verificaram que o *crosstraining* melhora os parâmetros metabólicos, morfológicos e funcionais do corpo, e assim promove o aumento das habilidades físicas tanto para as atividades diárias como para o desempenho esportivo. O *crosstraining* tem como objetivo desenvolver o condicionamento de forma ampla, inclusiva e geral. Por tanto, devido a sua complexidade e grande número de praticantes, cabe a importância de estudar novos métodos que melhorem o desempenho e as variáveis hemodinâmicas. Tendo em vista os benefícios já relatados pelo uso do PCI torna-se instigante analisar seu potencial efeito na melhora do desempenho e das variáveis hemodinâmicas em homens normotensos praticantes de *crosstraining*.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi investigar o efeito agudo do pré-condicionamento isquêmico no tempo de desempenho *fran*, na frequência cardíaca, na pressão arterial sistólica, na pressão arterial diastólica e a correlação entre

estas variáveis, em homens normotensos praticantes competidores de *crosstraining*, emergindo a hipótese de que o pré-condicionamento isquêmico melhoraria o tempo de desempenho do *fran* e as respostas das variáveis hemodinâmicas (FC, PAS e PAD).

MÉTODO

Amostra

A amostra foi por conveniência e consistiu em 12 praticantes de *crosstraining* do sexo masculino com experiência em competições (Idade: $26,33 \pm 1,25$ anos; peso: $77,73 \pm 3,70$ Kg; estatura: $1,86 \pm 0,00$ m; IMC: $30,08 \pm 0,00$ Kg/m²). Os dados foram coletados em Juiz de Fora, MG.

Os critérios de exclusão foram tempo de treinamento de no mínimo 2 anos, no mínimo três participações em competições regionais, não ter problemas osteomioarticulares, mínimo de 4 vezes semanais de treino.

Esta pesquisa atendeu às normas do Conselho Nacional de Saúde, Resolução 14.874/2024 para a realização de pesquisas com seres humanos. O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), parecer n° 3.610.060.

Instrumentos

Análises da frequência cardíaca e pressão arterial

A pressão arterial sistólica (PAS), a pressão arterial diastólica (PAD) e a frequência cardíaca (FC) foram avaliadas por meio do monitor automático MAPA BP3MZ1 (G.TECH®, Brasil). O manguito foi colocado no braço esquerdo e foi envolvido completamente, abrangendo pelo menos dois terços da parte superior do braço. Esse equipamento foi utilizado para todas as medidas de pressão arterial e FC. Todas as medições foram realizadas de acordo com as diretrizes da American Heart Association (2020).

Sessões de pré-condicionamento isquêmico

Foram utilizados esfigmomanômetros adaptados Nylon Premium calibrado, com braçadeiras de 51 por 14,5 cm (WCS, Brasil). Os manguitos foram posicionados bilateralmente e de forma simultânea nas regiões proximais das coxas e inflados a 220 mmHg por 5 minutos e desinflados a 0 mmHg por 5 min. para reperfusão. O procedimento foi repetido por 3 vezes totalizando um tempo de trinta minutos

de cumprimento do protocolo (Barbosa et al., 2015; Ribeiro et al., 2019).

Na sessão SHAM realizou o mesmo procedimento, no entanto, não ocorreu a oclusão vascular, para tanto os manguitos foram inflados a 20 mmHg, seguindo o mesmo protocolo de aplicação do PCI. Durante a aplicação da técnica em ambas as sessões os voluntários permaneceram deitados. Um Doppler Vascular (DV – 600, Marted, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) foi utilizado para confirmar a oclusão, posicionado na artéria tibial seguido de ausculta do fluxo sanguíneo.

Sessão de exercício: Fran

Fran é um treino de referência do *crosstraining* que consiste em completar 21-15-9 *Reps For Time* de *thruster* (95 lb) e *pull-ups* a serem realizados no menor tempo possível. A técnica do *thruster* (Figura 1) consiste em um *front squat*, no qual os quadris descem abaixo dos joelhos, em um *push press*, terminando com os joelhos, quadris e cotovelos em extensão total, usando uma barra (95/85 lb homens / 65/55 lb mulheres). A técnica de *pull-ups* (Figura 2) consiste em

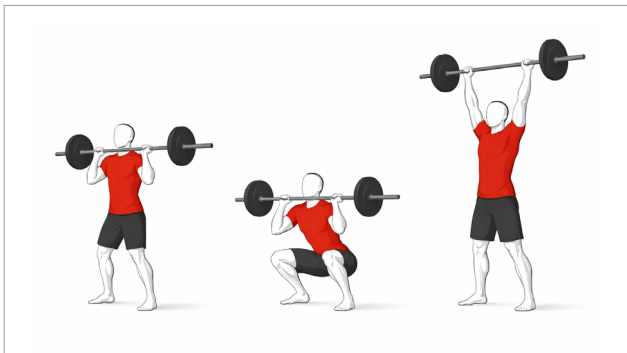


Figura 1. Movimento *thruster*, que compõe o treino *fran*.

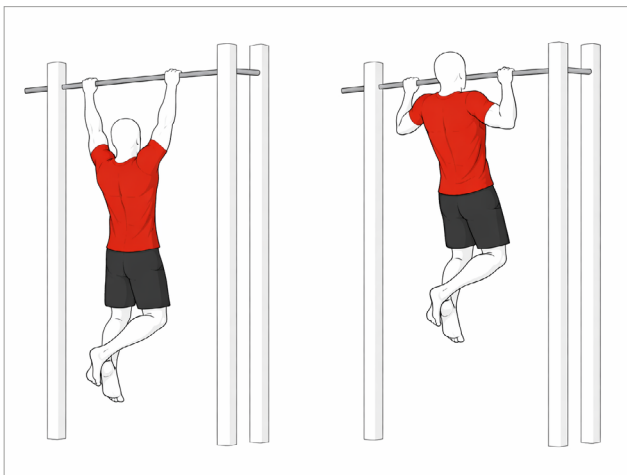


Figura 2. Movimento *pull-up*, que compõe o treino *fran*.

uma puxada na barra, elevando o corpo até passar o queixo da barra. Foi permitido realizar as seguintes variações técnicas: *strict* (puxada realizada na força), *kiping* (puxada com auxílio de um balanço técnico) ou *butterfly* (puxada a partir de uma técnica contínua e circular), desde que o queixo passe acima da barra. Todo o treino foi o seguinte: 21 *thruster*, 21 *pull-ups*, 15 *thruster*, 15 *pull-ups*, 9 *thruster* e 9 *pull-ups*. (Dexheimer et al., 2019).

Procedimentos

O protocolo metodológico aconteceu em três visitas com intervalo de uma semana entre elas. Na primeira visita, os voluntários foram esclarecidos sobre os procedimentos do estudo e após concordarem em assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, responderam ao questionário estruturado informando seus dados pessoais e o PAR-Q. A anamnese e a avaliação do peso corporal também foram realizadas com a balança Techine (Tecsilver®, São Paulo, Brasil), a estatura com o estadiômetro portátil da marca Fillizola® (Brasil). O IMC (Índice de Massa Corporal) foi calculado pela Equação 1:

$$\text{IMC} = \text{peso (kg)} \div (\text{altura (m)} \times \text{altura (m)}) \quad (1)$$

Os participantes foram informados sobre a execução do *fran* e realizaram a familiarização com o teste e com o procedimento de pré-condicionamento isquêmico (PCI). Na segunda e terceira visitas, em um desenho randomizado e cruzado conduzido pelo “randomization.com”, os voluntários realizaram as seguintes sessões: a) PCI + 30 min. + *fran* e b) SHAM (sessão placebo) + 30 min. + *fran*. Em ambas as sessões foi respeitado um tempo de 30 minutos entre o PCI ou SHAM e o *fran*. A Pressão arterial e a frequência cardíaca foram coletadas 5 e 10 minutos de repouso, 1 minuto após *fran* e 5 e 10 minutos de recuperação.

Análise estatística

Os dados são apresentados como média $\pm$ erro padrão da média. Inicialmente, a normalidade da distribuição dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. O tempo *fran* apresentou distribuição normal em ambos os grupos, PCI ($p = 0,557$) e SHAM ($p = 0,885$). A frequência cardíaca em repouso apresentou distribuição normal no grupo PCI ($p = 0,110$) e no grupo SHAM ($p = 0,824$). De forma semelhante, a pressão arterial sistólica em repouso apresentou distribuição normal no grupo PCI ($p = 0,132$) e no grupo SHAM ($p = 0,197$), assim como a pressão arterial diastólica em repouso no grupo PCI ($p = 0,701$) e no grupo SHAM ($p = 0,202$), justificando o uso de testes paramétricos.

Para a análise do tempo *fran*, foi empregada a análise de variância (ANOVA) de dois fatores, considerando grupo (PCI e SHAM) e tempo como fatores. As variáveis frequência cardíaca, pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica foram analisadas por meio de ANOVA de dois fatores para medidas repetidas, tendo o tempo como fator intra-sujeitos e o grupo como fator inter-sujeitos. Em caso de diferenças significativas, foi aplicado o teste post hoc de Bonferroni.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi utilizado para avaliar a intensidade da relação linear entre as variáveis, e a regressão linear foi empregada para modelar as associações entre pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, bem como entre o tempo *fran* e a categoria. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SPSS Statistics, versão 20.

RESULTADOS

A amostra foi constituída de 12 voluntários. As características antropométricas da população estudada encontram-se na Tabela 1.

O Tempo *fran* das sessões PCI e SHAM, foi semelhante e sem alteração entre as sessões ($p = 0,282$) (Figura 3).

O comportamento hemodinâmico do período de recuperação, durante 10 minutos, das sessões PCI e SHAM estão demonstrados nas Figuras 4, 5 e 6.

Tabela 1. Características antropométricas dos voluntários ($n = 12$).

Variáveis	Grupo
Idade (anos)	26.33 $\pm$ 1.25
Massa Corporal (Kg)	77.73 $\pm$ 3.70
Altura (m)	1.86 $\pm$.00
IMC (Kg/m ²)	30.08 $\pm$.00

IMC: Índice de massa corpórea. Resultados apresentados com valor médio $\pm$ erro padrão.

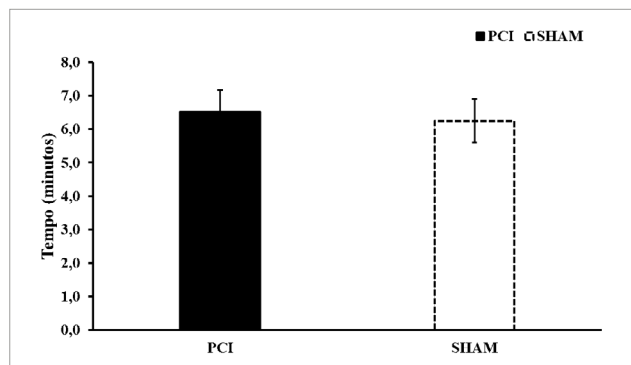


Figura 3. Comportamento do tempo *fran* nas sessões controle (Sham) e no pré condicionamento isquêmico (PCI).

A FC diminuiu significativamente no PCI e SHAM, durante o período de recuperação, no primeiro, quinto e décimo minuto (Tempo $p \leq 0,001$, $p \leq 0,001$, $p \leq 0,001$, respectivamente) sem alteração entre as sessões ($p = 0,332$) (Figura 4).

A PAS apresentou redução significativa em ambas as sessões, no primeiro, quinto e décimo minuto de recuperação

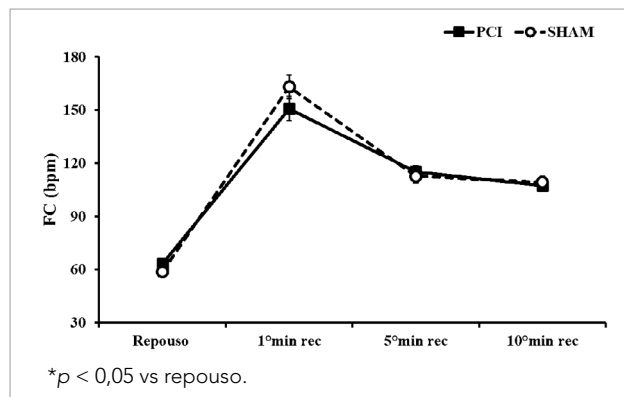


Figura 4. Comportamento da frequência cardíaca (FC) durante o período de recuperação de 10 minutos nas sessões controle (Sham) e no pré condicionamento isquêmico (PCI).

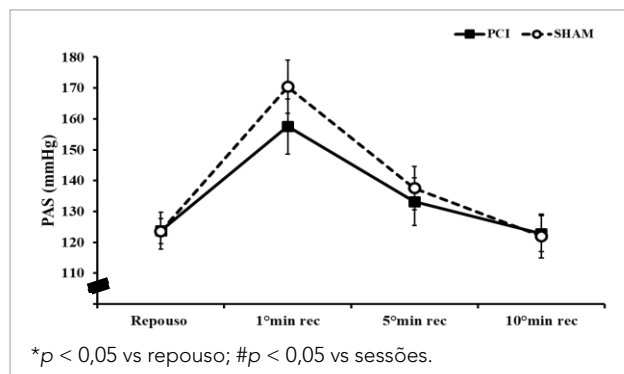


Figura 5. Comportamento da pressão arterial sistólica (PAS) durante o período de recuperação de 10 minutos nas sessões controle (Sham) e no pré condicionamento isquêmico (PCI).

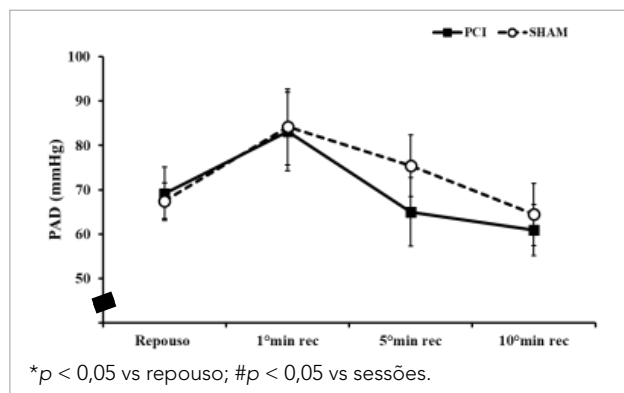


Figura 6. Comportamento da pressão arterial diastólica (PAD) durante o período de recuperação de 10 minutos nas sessões controle (Sham) e no pré condicionamento isquêmico (PCI).

(Tempo $p = 0,001$, $p \leq 0,001$, $p \leq 0,001$, respectivamente). No entanto, somente no primeiro minuto de recuperação observa-se uma diferença significativa entre os grupos, caracterizada por uma maior magnitude pressórica do grupo Sham (Grupo $p = 0,935$; $0,028$; $0,180$ respectivamente) (Figura 5).

A PAD apresentou uma diminuição significativa em ambas as sessões (Tempo $p = 0,001$, $p \leq 0,001$, $p \leq 0,001$ respectivamente). Entretanto, somente no quinto minuto da recuperação observa-se uma diferença significativa entre os grupos, caracterizada por uma redução significativa no grupo PCI. (Grupo $p = 0,659$; $0,015$, $0,076$ respectivamente) (Figura 6).

A análise de dispersão explora a relação entre as variáveis da pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica do grupo PCI e Sham. No grupo Sham, o coeficiente de Pearson foi de $r = 0,81$, enquanto o R-quadrado foi de $0,65$, assim tem-se um Rquadrado ajustado de $0,61$. Com relação a Anova verificou-se um valor de $0,002$. Adicionalmente, há uma correlação moderada das variáveis pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, durante o primeiro minuto de recuperação (Figura 7).

No PCI, o coeficiente de Pearson foi de $r = 0,87$, quando o R-quadrado foi de $0,76$, desta forma tem-se um Rquadrado ajustado de $0,74$. Segundo a Anova verificou-se um valor de $p \leq 0,001$. Diante dos resultados obtidos, é possível perceber a influência e relação da pressão arterial sistólica com a pressão arterial diastólica durante o primeiro minuto de recuperação. Além do mais, existe uma correlação forte entre essas variáveis no grupo PCI (Figura 8).

No grupo Sham, a análise de correlação de Pearson indicou uma associação positiva e moderada entre a categoria e o tempo no teste Fran SHAM, $r = 0,76$. O modelo de regressão linear apresentou coeficiente de determinação de $R^2 = 0,57$, com R^2 ajustado de $0,53$, indicando que aproximadamente 57% da variabilidade do tempo no Fran SHAM foi explicada

pela categoria dos participantes. A ANOVA confirmou significância estatística da regressão ($p = 0,004$).

No grupo PCI, a análise de correlação de Pearson demonstrou uma associação positiva de magnitude moderada entre a categoria e o tempo no teste Fran, $r = 0,64$. O modelo de regressão linear apresentou coeficiente de determinação de $R^2 = 0,41$, com R^2 ajustado de $0,36$, indicando que 41% da variabilidade do tempo no teste Fran PCI foi explicada pela categoria. A ANOVA confirmou a significância estatística da regressão ($p = 0,024$).

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi investigar o efeito agudo do pré-condicionamento isquêmico no tempo de desempenho do *fran*, na frequência cardíaca, na pressão arterial sistólica, na pressão arterial diastólica e a correlação entre estas variáveis, em homens normotensos praticantes competidores de *cross-training*. Os principais achados do nosso estudo mostraram que houve redução no tempo de desempenho do *fran*, mas sem diferença estatisticamente significativa. Houve redução na FC nos três momentos de recuperação (1º minuto, 5º minuto e 10º minuto), mas sem diferença significativa entre PCI/SHAM. Encontramos redução na PAS nos três momentos de recuperação, com redução significativa na condição PCI no 1º minuto de recuperação. Encontramos redução na PAD nos três momentos da recuperação, com redução significativa na condição PCI no 5º minuto de recuperação. Adicionalmente, há uma correlação moderada das variáveis pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, durante o 1º minuto de recuperação no grupo SHAM. E por fim, muito forte correlação das variáveis pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, durante o 1º minuto de recuperação no grupo no PCI.

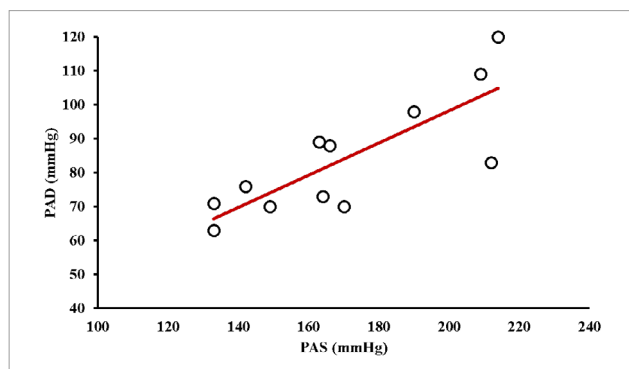


Figura 7. Dispersão, correlação e regressão linear entre as variáveis pressão arterial sistólica (PAS) e pressão arterial diastólica (PAD) durante o 1º minuto de recuperação da sessão Sham.

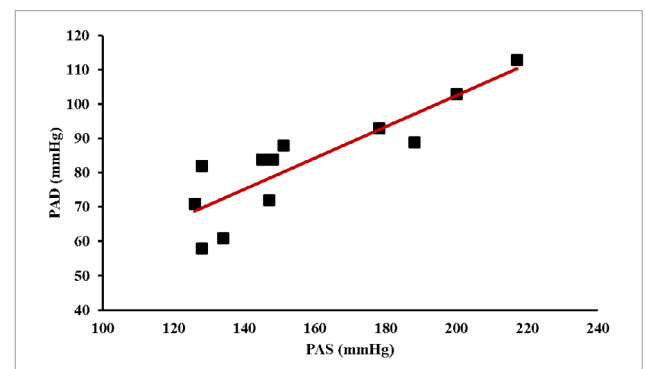


Figura 8. Dispersão, correlação e regressão linear entre as variáveis pressão arterial sistólica (PAS) e pressão arterial diastólica (PAD) durante o 1º minuto de recuperação da sessão PCI.

Na variável FC, observamos redução nos três momentos de recuperação (1°, 5°, 10° minutos), mas sem diferença entre as sessões PCI/SHAM. Tibana et al. (2017) determinaram a FC após duas sessões treinamento de *crosstraining* e verificaram que a FC permaneceu maior 45 minutos após a primeira e a segunda sessões de exercício, em comparação com os valores pré exercício. Desta forma, comparando com nosso estudo, esses achados sinalizam benefício do PCI contribuindo com a redução da FC após o exercício.

Alguns estudos corroboram com nossos achados em relação a FC na recuperação após aplicação do PCI e no aumento de desempenho, através da diminuição do tempo do *fran* (Garcia et al., 2017; Kaur et al., 2017; Lopes et al., 2018; Marocolo et al., 2017; Richard & Billaut, 2018). Lopes et al. (2018) aplicaram PCI em 15 homens praticantes de esportes coletivos. PCI foi aplicado nas pernas e consistiu em 3x5 min I/R a 220 mmHg ou controle com 20 mmHg 48 h, 24 h e 35 min antes de executar 3 séries de 6 corridas de vaivém. Os autores relataram que o PCI antes de exercícios de sprints reduziu a FC. Kaur et al. (2017) avaliaram os efeitos do PCI em dezoito corredores e verificaram que a FC, a PA e a economia de corrida não tiveram mudança significativa.

Garcia et al. (2017) analisaram os efeitos do PCI em jogadores sub-élite de rugby antes de um teste específico. Os autores não encontraram efeitos significativos para o teste específico. Além disso, a FC não apresentou melhora significativa. Richard e Billaut (2018) investigaram o efeito do PCI em atletas de patinação em velocidade. Participaram do estudo 7 patinadores de elite. O PCI envolveu 3 ciclos de 5 minutos de isquemia (I) e 5 minutos de perfusão (R) nos braços a 180 mmHg, o grupo SHAM seguiu o mesmo protocolo com 10 mmHg. Os procedimentos foram realizados 1h e 30 min antes do teste de velocidade em pista de 1000m. Os autores não observaram melhora no desempenho da patinação de velocidade em pistas de 1.000 m em atletas de elite e a frequência cardíaca permaneceu inalterada.

Marocolo et al. (2017) avaliaram 13 jogadores amadores de futebol. O PCI foi realizado com 4 ciclos de 5 minutos I/R nas pernas com 220 mmHg e 20 mmHg para SHAM. Os procedimentos foram realizados 6 minutos antes do YoYoIE2 teste. Os autores relataram que o PCI não influenciou o desempenho durante o teste YoYoIE2 e nem o comportamento da frequência cardíaca.

Na variável PAS observamos redução nos três momentos de recuperação (1°, 5°, 10° minutos). Podemos observar no gráfico de PAS que no 1° minuto após o exercício há uma redução significativa de PAS na condição PCI. Na variável PAD observamos redução nos três momentos de recuperação (1°, 5°, 10° minutos) e no 5° minuto de recuperação

observamos uma diferença significativa entre as condições na PAD, sendo que há uma redução na condição PCI. Ao realizar uma técnica em que há vasodilatação, essa resposta é mais significativa no 5° minuto. Corroborando com nossos achados, Lopes et al. (2018) submeteram quinze praticantes masculinos de esportes coletivos às condições PCI e SHAM e o PCI acelerou a recuperação de curto prazo na PAS e PAD.

Ribeiro et al. (2019) aplicaram PCI em 12 atletas de judô, sendo o protocolo 3 x 5 minutos I/R nas pernas a 220 mmHg PCI e 20 mmHg para SHAM. Encontraram melhora no desempenho e nas hemodinâmicas (FC, PAS e PAD). A resposta da PAS foi significativamente diferente entre IPC e SHAM no 10° minuto em relação ao 5° minuto de recuperação, corroborando com nossos achados sobre a melhora nas respostas hemodinâmicas após aplicação do PCI. Groot et al. (2010) aplicaram PCI em quinze ciclistas bem treinados. Apesar de observarem aumentos no desempenho, a FCmax, a PAS e a PAD não foram alteradas. Os procedimentos foram realizados 5 minutos antes do início do teste.

Na condição PCI, a oclusão vascular prévia ao *fran* pode ter contribuído para a queda mais significativa da PAS no 1° minuto e da PAD no 5° minuto de recuperação, enquanto a condição SHAM apresentou valores mais elevados dessas variáveis. Esse comportamento reforça o papel do PCI como modulador das respostas vasculares pós-exercício, possivelmente devido ao aumento da vasodilatação periférica e da eficiência do retorno venoso (Tong et al., 2019).

Para explicar nossos resultados verificamos na literatura que o efeito positivo do PCI na PAS e PAD tem como mecanismo a melhora da função endotelial no tecido da circulação central e no acoplamento arteriopulmonar, levando a eficiência das trocas gasosas na ventilação pulmonar (Hong et al., 2014; Kim et al., 2008). Tong et al. (2019) encontraram redução na pressão arterial e melhora na função endotelial pesquisando o PCI em pacientes hipertensos. Dentre as funções do endotélio estão a regulação do tônus vagal e a modulação da inflamação, caso haja oferta ineficiente de óxido nítrico ao endotélio pode acarretar inflamação e estresse oxidativo aumentando FC e PA. Desta forma, o PCI pode atuar como restaurador do sistema endotelial, já que melhora a oferta de óxido nítrico e tem efeito vasodilatador (Guo et al., 2019).

Os mecanismos fisiológicos subjacentes aos efeitos do PCI no músculo esquelético e nas respostas hemodinâmicas parecem ser modulados pela liberação de óxido nítrico melhorando a função vascular e a perfusão e atenuando a vasoconstrição simpática (Kimura et al., 2007; Li et al., 2012) e pela redução das descargas das terminações nervosas aferentes III e IV (Crisafulli et al., 2011). As terminações nervosas diminuem a

sensação de fadiga e contribuem para a regulação cardiovascular durante o exercício (Amann et al., 2011). As respostas hemodinâmicas verificadas pela frequência cardíaca (FC) e pela pressão arterial sistólica e diastólica (PAS e PAD) são importantes para o controle e monitoramento das respostas do treinamento. PCI pode contribuir com impactos positivos na função cardíaca e vascular, diminuindo a sobrecarga cardíaca para um mesmo esforço.

Em adicional, outros mecanismos que envolvem o PCI é a atenuação da concentração de lactato e do aumento vasodilatador, nesse sentido há um aumento da desoxigenação da hemoglobina e saturação de oxigênio aumentando o ATP e CP, além do drive neural por ativação de fibras aferentes do tipo III e IV no musculo esquelético. E ainda, acontece o aumento de adenosina e ativação dos canais de potássio na mitocôndria que estimula a concentração de ATP.

Além disso, foi observada uma correlação moderada das variáveis pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, durante o 1º minuto de recuperação no grupo SHAM. E por fim, forte correlação entre as variáveis pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, durante o 1º minuto de recuperação no grupo no PCI, indicando que a redução da frequência cardíaca esteve associada à diminuição proporcional das pressões arterial sistólica e diastólica. Essa resposta sugere um comportamento cardiovascular mais eficiente após o exercício, com menor sobrecarga hemodinâmica no período de recuperação.

As Figuras 9 e 10 demonstram correlação significativa entre a categoria dos atletas (intermediários e avançados) e o tempo de desempenho no *fran* tanto na condição SHAM quanto no PCI. No entanto, a força dessa correlação foi maior no SHAM ($r = 0,76$; $R^2 = 0,57$) e moderada no PCI ($r = 0,64$; $R^2 = 0,41$), apontando diferenças na influência do nível de treinamento sobre o desempenho entre as sessões.

Na sessão SHAM, a correlação mais elevada sugere que o desempenho esteve fortemente condicionado ao nível de

treinamento, o que é esperado, uma vez que atletas avançados apresentam maior eficiência neuromuscular, melhor domínio técnico e maior capacidade metabólica para sustentar esforços de alta intensidade e curta duração, como o *fran* (Claudino et al., 2018). Esses fatores são decisivos em treinos do *crosstraining*, nos quais pequenas diferenças técnicas e estratégicas impactam significativamente o tempo final (Dexheimer et al., 2019).

Por outro lado, na condição PCI, a redução da magnitude da correlação sugere que o pré-condicionamento isquêmico pode ter atenuado parcialmente as diferenças de desempenho entre categorias, possivelmente beneficiando de forma mais expressiva os atletas intermediários. Evidências indicam que o PCI tende a promover maiores efeitos em indivíduos com menor eficiência cardiovascular e metabólica basal, por meio da melhora da perfusão muscular, da função endotelial e da modulação autonômica (Crisafulli et al., 2011; Kimura et al., 2007; Marocolo et al., 2017).

Além disso, atletas avançados podem apresentar um efeito teto, no qual adaptações crônicas já estabelecidas limitam ganhos adicionais de desempenho agudo com o PCI (Richard & Billaut, 2018). Assim, enquanto no SHAM o desempenho foi predominantemente explicado pela categoria, no PCI observa-se uma menor dependência do nível de treinamento, sugerindo que a técnica pode reduzir a diferença de desempenho entre atletas intermediários e avançados em exercícios de alta intensidade.

O presente estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. A magnitude das respostas fisiológicas observadas pode estar relacionada a sessão de treino *fran*, do *cross-training*, caracterizado por sua curta duração e alta intensidade. Diferentes treinos de *crosstraining* variam em estrutura, volume, intensidade e períodos de descanso, o que pode influenciar de modo distinto as demandas cardiovasculares e as possíveis respostas ao pré-condicionamento isquêmico. Para minimizar essa limitação, o protocolo foi rigorosamente

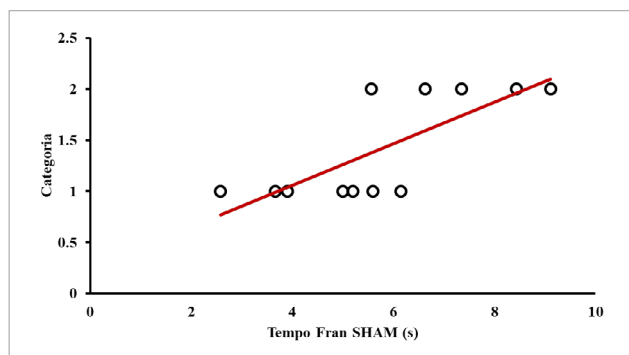


Figura 9. Dispersão, correlação e regressão linear entre as variáveis categoria e tempo Fran Sham.

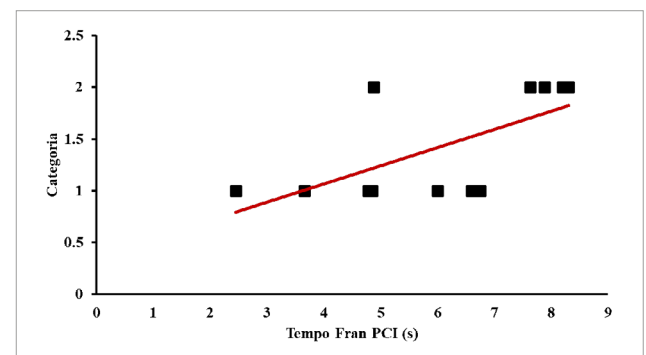


Figura 10. Dispersão, correlação e regressão linear entre as variáveis categoria e tempo Fran PCI.

padronizado e a escolha do *fran* como teste baseou-se em seu reconhecimento científico (Dexheimer et al., 2019; Malheiro et al., 2025) como um treino válido e reproduzível dentro da produção da científica acerca do *crosstraining*, permitindo comparações futuras. Além disso, todas as sessões experimentais foram conduzidas no mesmo ambiente, no mesmo horário, com supervisão direta para garantir a correta execução técnica e a máxima intensidade de esforço.

Embora a amostra tenha sido composta por praticantes experientes e habituados a competições, seu tamanho limitado pode restringir a generalização dos resultados para populações com diferentes níveis de treinamento. Para contornar parcialmente essa limitação, foi adotado um desenho de estudo cruzado e randomizado, no qual cada voluntário serviu como seu próprio controle, aumentando assim o poder estatístico da análise. Investigações futuras são encorajadas para estabelecer a eficácia do PCI em uma gama mais ampla de treinos do *crosstraining* (como os voltados para endurance ou força pura) e em populações maiores, incluindo mulheres e atletas de diferentes categorias de desempenho.

CONCLUSÕES

Pode-se inferir que apesar de não apresentar diferença estatística no tempo de desempenho *fran*, o grupo PCI apresentou redução nas respostas hemodinâmicas (FC, PAS e PAD) e ainda pode-se inferir ainda que a moderada e a forte correlação entre as respostas hemodinâmicas sugerem que a redução da frequência cardíaca esteve associada a menores valores pressóricos no período de recuperação. Isto sugere um efeito integrado e favorável do PCI sobre o sistema cardiovascular, com redução da sobrecarga cardíaca após exercício de alta intensidade. Como aplicabilidade prática, estes achados sugerem que o PCI pode ser incorporado como uma estratégia de preparação segura antes de treinos ou competições de alta intensidade. Seu principal benefício aplicado não seria uma melhoria imediata de desempenho, mas sim a promoção de uma recuperação cardiovascular mais rápida e com menor sobrecarga hemodinâmica.

Isso pode ser particularmente valioso em contextos de treinamento com múltiplas sessões diárias ou em competições com várias etapas, onde uma recuperação mais eficiente entre os esforços pode contribuir para a manutenção do desempenho ao longo do evento e potencialmente reduzir o risco de fadiga cardiovascular acumulada. Portanto, este estudo fornece evidências que fundamentam o uso do PCI como uma ferramenta auxiliar na otimização do processo de recuperação no *crosstraining* e em modalidades

similares, destacando seu papel na atenuação das respostas pressóricas e cardíacas exacerbadas típicas dessas atividades. Recomenda-se novos estudos que adicionem grupo controle no desenho experimental, além disso, pesquisas que envolvam outros treinos do *crosstraining*, como por exemplo *grace*, *fight gone bad*, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal de Juiz de Fora. Agradecemos aos proprietários das academias de Crossfit, aos professores e treinadores e aos atletas que participaram com tanto empenho da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Amann, M., Runnels, S., Morgan, D. E., Trinity, J. D., Fjeldstad, A. S., Wray, D. W., Reese, V. R., & Richardson, R. S. (2011). On the contribution of group III and IV muscle afferents to the circulatory response to rhythmic exercise in humans. *Journal of Physiology*, 589(15), 3855–3866. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.209353>
- American Heart Association (2020). *Diretrizes da American Heart Association*. American Heart Association.
- Barbosa, T. C., Machado, A. C., Braz, I. D., Fernandes, I. A., Vianna, L. C., Nobrega, A. C. L., & Silva, B. M. (2015). Remote ischemic preconditioning delays fatigue development during handgrip exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(3), 356–364. <https://doi.org/10.1111/sms.12229>
- Claudino, J. G., Gabbett, T. J., Bourgeois, F., Souza, H. de S., Miranda, R. C., Mezêncio, B., Soncin, R., Cardoso Filho, C. A., Bottaro, M., Hernandez, A. J., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2018). CrossFit® overview: systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine – Open*, 4, Artigo 11. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0124-5>
- Crisafulli, A., Tangianu, F., Tocco, F., Concu, A., Mameli, O., Mulliri, G., & Caria, M. A. (2011). Ischemic preconditioning of the muscle improves maximal exercise performance but not maximal oxygen uptake in humans. *Journal of Applied Physiology*, 111(2), 530–536. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00266.2011>
- Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological performance measures as indicators of CrossFit performance. *Sports*, 7(4), Artigo 93. <https://doi.org/10.3390/sports7040093>
- Garcia, C. A., Mota, G. R., Leicht, A. S., & Marocolo, M. (2017). Ischemic preconditioning and acute recovery of performance in rugby union players. *Sports Medicine International Open*, 1(3), Artigo E107. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111082>
- Griffin, P. J., Ferguson, R. A., Gissane, C., Bailey, S. J., & Patterson, S. D. (2018). Ischemic preconditioning enhances critical power during a 3 minute all-out cycling test. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1038–1043. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1349923>
- Groot, P. C., Thijssen, D. H., Sanchez, M., Ellenkamp, R., & Hopman, M. T. (2010). Ischemic preconditioning improves maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 108(1), 141–146. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1195-2>
- Guo, Z.-N., Guo, W.-T., Liu, J., Chang, J., Ma, H., Zhang, P., Zhang, F.-L., Han, K., Hu, H.-H., Jin, H., Sun, X., Simpson, D. M., & Yang, Y. (2019). Changes in cerebral autoregulation and blood biomarkers after remote ischemic preconditioning. *Neurology*, 93(1), e8–e19. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000007732>

- Hong, D. M., Lee, E.-H., Kim, H. J., Min, J. J., Chin, J.-H., Choi, D.-K., Bahk, J.-H., Sim, J.-Y., Choi, I.-C., & Jeon, Y. (2014). Does remote ischaemic preconditioning with postconditioning improve clinical outcomes of patients undergoing cardiac surgery? Remote Ischaemic Preconditioning with Postconditioning Outcome Trial. *European Heart Journal*, 35(3), 176–183. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehf346>
- Kaur, G., Binger, M., Evans, C., Trachte, T., & Van Guilder, G. P. (2017). No influence of ischemic preconditioning on running economy. *European Journal of Applied Physiology*, 117(2), 225–235. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3522-8>
- Kim, H. S., Loughran, P. A., & Billiar, T. R. (2008). Carbon monoxide decreases the level of iNOS protein and active dimer in IL-1 β -stimulated hepatocytes. *Nitric Oxide*, 18(4), 256–265. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2008.02.002>
- Kimura, M., Ueda, K., Goto, C., Jitsuiki, D., Nishioka, K., Umemura, T., Noma, K., Yoshizumi, M., Chayama, K., & Higashi, Y. (2007). Repetition of ischemic preconditioning augments endothelium-dependent vasodilation in humans: role of endothelium-derived nitric oxide and endothelial progenitor cells. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 27(6), 1403–1410. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.107.143578>
- Kjeld, T., Rasmussen, M. R., Jattu, T., Nielsen, H. B., & Secher, N. H. (2014). Ischemic preconditioning of one forearm enhances static and dynamic apnea. *Medicine & Science Sports & Exercise*, 46(1), 151–155. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a4090a>
- Lalonde, F., & Curnier, D. Y. (2015). Can anaerobic performance be improved by remote ischemic preconditioning? *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 80–85. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000609>
- Li, X.-D., Cheng, Y.-T., Yang, Y.-J., Meng, X.-M., Zhao, J.-L., Zhang, H.-T., Wu, Y.-J., You, S.-J., & Wu, Y.-L. (2012). PKA-mediated eNOS phosphorylation in the protection of ischemic preconditioning against no-reflow. *Microvascular Research*, 84(1), 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2012.04.002>
- Lopes, T. R., Sabino-Carvalho, J. L., Ferreira, T. H., Succì, J. E., Silva, A. C., & Silva, B. M. (2018). Effect of ischemic preconditioning on the recovery of cardiac autonomic control from repeated sprint exercise. *Frontiers in Physiology*, 9, Artigo 1465. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01465>
- Malheiro, A., Forte, P., Rodríguez Rosell, D., Marques, D. L., & Marques, M. C. (2025). Exploratory analysis of the correlations between physiological and biomechanical variables and performance in the CrossFit® fran benchmark workout. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(4), Artigo 387. <https://doi.org/10.3390/jfmk10040387>
- Marocolo, I. C., Mota, G. R., Londe, A. M., Patterson, S. D., Neto, O. B., & Marocolo, M. (2017). Acute ischemic preconditioning does not influence high-intensity intermittent exercise performance. *PeerJ*, 5, Artigo e4118. <https://doi.org/10.7717/peerj.4118>
- Novaes, J. S., Silva Telles, L. G., Monteiro, E. R., Silva Araujo, G., Vingren, J. L., Silva Panza, P., Reis, V. M., Laterza, M. C., & Vianna, J. M. (2020). Ischemic preconditioning improves resistance training session performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(11), 2993–2998. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003532>
- Paine, J., Uptgraft, J., & Wylie, R. (2010). CrossFit study. Command and General Staff College.
- Paixão, R. C., Mota, G. R., & Marocolo, M. (2014). Acute effect of ischemic preconditioning is detrimental to anaerobic performance in cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), Artigo e5. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1384588>
- Panza, P., Novaes, J., Telles, L. G., Campos, Y., Araújo, G., Neto, N., Raider, L., Novaes, G., Leitão, L., & Vianna, J. (2020). Ischemic preconditioning promotes post-exercise hypotension in a session of resistance exercise in normotensive trained individuals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), Artigo 78. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010078>
- Paul, E. J., & Van Guilder, G. P. (2019). Remote ischemic preconditioning increases accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1193–1203. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00585.2018>
- Przyklenk, K., Bauer, B., Ovize, M., Kloner, R. A., & Whittaker, P. (1993). Regional ischemic preconditioning protects remote virgin myocardium from subsequent sustained coronary occlusion. *Circulation*, 87(3), 893–899. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.87.3.893>
- Ribeiro, A. A. S., Novaes, J., dos Reis, N., Telles, L. G., Sant'Ana, L., Raider, L., Dal Poggetto, L., Brown, A., Panza, P., Martinez, D., Mansur, H., & Vianna, J. (2019). Acute effect of ischemic preconditioning on the performance and on the hemodynamic responses of high-performance male judo athletes. *Journal of Professional Exercise Physiology*, 16(3).
- Richard, P., & Billaut, F. (2018). Time-trial performance in elite speed skaters after remote ischemic preconditioning. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(10), 1308–1316. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0111>
- Tibana, R. A., Almeida, L. M., Sousa Neto, I. V., Sousa, N. M. F., Almeida, J. A., Salles, B. F., Bentes, C. M., Prestes, J., Collier, S. R., & Voltarelli, F. A. (2017). Extreme conditioning program induced acute hypotensive effects are independent of the exercise session intensity. *International Journal of Exercise Science*, 10(8), 1165–1173. <https://doi.org/10.70252/CDFU3385>
- Tong, X.-Z., Cui, W.-F., Li, Y., Su, C., Shao, Y.-J., Liang, J.-W., Zhou, Z.-T., Zhang, C.-J., Zhang, J.-N., Zhang, X.-Y., Xia, W.-H., & Tao, J. (2019). Chronic remote ischemic preconditioning-induced increase of circulating hSDF-1 α level and its relation with reduction of blood pressure and protection endothelial function in hypertension. *Journal of Human Hypertension*, 33(12), 856–862. <https://doi.org/10.1038/s41371-018-0151-1>