

Programa de Pós-graduação em Fisioterapia

Maria Júlia Lopez Laurino

**Impacto da reposição hídrica e da capacidade funcional na
dinâmica não linear da frequência cardíaca em exercício e
recuperação em coronariopatas**

FISIOTERAPIA

Presidente Prudente

2020

Programa de Pós-graduação em Fisioterapia

Maria Júlia Lopez Laurino

**Impacto da reposição hídrica e da capacidade funcional na
dinâmica não linear da frequência cardíaca em exercício e
recuperação em coronariopatas**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente, para a obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-graduação em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei

Presidente Prudente

2020

L385i

Laurino, Maria Júlia Lopez

Impacto da reposição hídrica e da capacidade funcional na dinâmica não linear da frequência cardíaca em exercício e recuperação em coronariopatas / Maria Júlia Lopez Laurino. -- Presidente Prudente,

2020

94 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Luiz Carlos Marques Vanderlei

1. Coração Doenças. 2. Sistema nervoso autônomo. 3. Aptidão
cardiorrespiratória. 4. Exercícios físicos. 5. Hidratação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade
de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Impacto da reposição hídrica e da capacidade funcional na dinâmica não linear da frequência cardíaca em exercício e recuperação em coronariopatas

AUTORA: MARIA JÚLIA LOPEZ LAURINO

ORIENTADOR: LUIZ CARLOS MARQUES VANDERLEI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em FISIOTERAPIA, área: Avaliação e Intervenção em Fisioterapia pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUIZ CARLOS MARQUES VANDERLEI

Departamento de Fisioterapia e Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia / FCT/UNESP - Presidente Prudente



Prof. Dr. DIEGO GIULLIANO DESTRO CHRISTÓFARO

Educação Física / FCT/UNESP - Presidente Prudente



Profa. Dra. FRANCIS LOPES PACAGNELLI

Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE



Presidente Prudente, 21 de fevereiro de 2020

Dedicatória

Dedico este trabalho àqueles que sempre me apoiaram, confiaram em mim e contribuíram para que essa pesquisa se concretizasse e àqueles que as informações aqui reunidas possam ser úteis.

Agradecimento

Não posso começar meus agradecimentos sem antes dizer o quanto minha família foi essencial nesse processo, meu pai João Luiz, meu irmão João Pedro e a minha “boadrasta” Fabiana, que mesmo a 560 Km de distância se fizeram presentes em todos os momentos, vibraram comigo cada pequena vitória, me ajudaram a superar todos os obstáculos e sempre me apoiaram. E minha mãe Maristela, meu maior exemplo de força e determinação, que todos os dias esteve comigo em pensamento. Sou muito grata a todos vocês por tudo que fizeram e fazem por mim. E já que estou falando de família não poderia deixar de fora minha pequena de quatro patas, a Pepper, que foi minha companhia diária durante esse processo.

Agradeço ao Professor Luiz Carlos pela oportunidade e por sempre confiar em mim, mesmo quando nem eu mesma confiava. Agradeço por todo o carinho e parceria, por tudo que me ensinou, por toda a paciência e por sempre ser a luz no fim do túnel nos momentos de “Prof, não sei o que fazer”, “Prof, não estou entendendo aquilo”, “Prof, isso não está fazendo sentido” e muitos outros. O senhor é meu maior exemplo e inspiração nesse mundo acadêmico, já está ficando clichê, mas acho que todos queremos ser pelo menos 1% da pessoa que o senhor é.

Tenho que agradecer também a essas duas pessoas extraordinárias, Anne e Laís. Anne, ou melhor, mamis Kastelianne, nem sei por onde começar, mas saiba que aprendi e aprendo muito com você e que se hoje eu estou aqui determinada a seguir a carreira acadêmica foi porque, durante a nossa convivência no Time Hidratação, você sempre incentivou minhas brisas, respondeu meus infinitos questionamentos e fez brotar em mim esse espírito curioso de pesquisadora e me fez pegar gosto pela coisa. Laís, ou melhor, Vanz, saiba que ser sua “mochilinha” foi sensacional, sua companhia nos horários alternativos de trabalho no laboratório me ajudou a cumprir várias metas e prazos da maneira mais leve e divertida possível. E mais importante que tudo isso, vocês duas aguentaram todas as minhas crises existenciais e nem imaginam o quanto me ajudaram nesse ano que passou. E aqui tenho que incluir também a Ariela, a Denise e a Lorena, que desde o primeiro ano da graduação compartilharam comigo essa caminhada e foram grandes incentivadoras.

Agradeço as minhas duplas de mestrado e de time hidratação Day e Vitor e ao Felipe, meu companheiro de lab de todos os dias, que escutaram com toda paciência os meus desabafos e riram comigo de todas as vezes que eu chegava “desgostosa” no laboratório pelos mais diversos motivos.

Agradeço a todos do Laboratório de Fisiologia do Estresse pelo carinho e apoio. Tenho que fazer um agradecimento especial para a Denise, a Lorena e o João por todo o suporte e compreensão durante os meses de coleta lá na clínica. Também não poderia deixar de fora o meu filhote, Júlio, obrigada pela confiança, dedicação e ajuda nas coletas.

Agradeço a Professora Francis e ao Professor Diego pela disponibilidade e por todas as contribuições para o enriquecimento do texto.

Agradeço a todos os voluntários que aceitaram participar da pesquisa, porque sem eles esse trabalho não seria possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“There is no stopping in curiosity,
I wanna turn the whole thing upside down,
I will find the things they say just can’t be found”

Jack Johnson

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	14
RESUMO	15
ABSTRACT	18
INTRODUÇÃO.....	21
<i>MANUSCRITO 1</i>	29
<i>MANUSCRITO 2</i>	60
CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS	91

Este é um modelo alternativo de dissertação e contempla a pesquisa intitulada: **Impacto da reposição hídrica e da capacidade funcional na dinâmica não linear da frequência cardíaca em exercício e recuperação em coronariopatas**, realizada no Laboratório de Fisiologia do Estresse da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP.

Em concordância com as normas do modelo alternativo do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, a presente dissertação está dividida da seguinte forma:

- Introdução, contendo a contextualização do tema pesquisado;
- Artigo I: Laurino MJL e Vanderlei LCM. Influência da reposição hídrica na dinâmica não linear da frequência cardíaca nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular: ensaio clínico crossover
- Artigo II: Laurino MJL e Vanderlei LCM. A hidratação durante e após o exercício traz maiores benefícios para a dinâmica não linear da frequência cardíaca de coronariopatas com menor aptidão cardiorrespiratória: ensaio clínico crossover
- Conclusões, obtidas por meio da pesquisa realizada; e

Referências, cujo formato está de acordo com as normas para apresentação da dissertação.

Introdução: A presença de doenças cardiovasculares e uma reduzida aptidão cardiorrespiratória são fatores que atrasam a recuperação autonômica pós-exercício. Essa condição contribui para um pior prognóstico clínico e favorece a ocorrência de eventos agudos, como isquemias e arritmias após o exercício. Nesse sentido, técnicas capazes de acelerar a recuperação pós-exercício de indivíduos que apresentam essas características devem ser estudadas. **Objetivos:** Investigar a influência da hidratação na dinâmica não linear da frequência cardíaca (FC) durante os períodos de exercício e recuperação de indivíduos coronariopatas, e ainda, investigar essas respostas considerando diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória. **Metodologia:** 31 homens coronariopatas foram submetidos aos seguintes procedimentos: I. Teste de esforço máximo, que determinou a carga do exercício realizado nas etapas seguintes (60-80% da FC atingida no limiar anaeróbio) e a divisão da população nos grupos pior ($n = 15$) e melhor ($n = 16$) capacidade funcional de acordo com a mediana dos valores de VO_{2pico} ; II. Protocolo controle (PC) e III. Protocolo hidratação (PH) análogos a uma sessão de reabilitação cardiovascular, compostos pelos períodos de repouso, aquecimento, exercício aeróbio e recuperação. No PC foi identificada a quantidade de líquido perdida por cada voluntário durante o experimento e no PH essa quantidade foi repostada com 8 porções iguais de água mineral durante os períodos de exercício e recuperação, em intervalos regulares de 10 minutos. Para análise do comportamento não linear da FC nos períodos de exercício e recuperação foram calculados os índices do *plot* de recorrência (REC, DET, SampEn e ApEn), da análise de flutuações depurada de tendência (DFA-total, Alfa-1, Alfa-2) e da análise simbólica (0V, 1V, 2LV, 2ULV). Para a avaliação da influência da hidratação nos grupos com diferentes capacidades aeróbias foram considerados os índices do *plot* de recorrência e do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2). **Resultados:** Para a população de coronariopatas, em exercício, as respostas observadas foram fisiológicas e não se alteraram com a hidratação, porém para a análise da recuperação houve interação entre os protocolos para os índices REC ($p = 0,015$) e Alfa-1 ($p = 0,039$) e foram encontradas diferenças entre os momentos para todos os índices ($p < 0,01$). No PH a recuperação de todos os índices ocorreu entre o 5º e 20º min de recuperação, enquanto no PC apenas os índices DFA-total, 1V e 2LV se recuperaram dentro do período de 60 minutos. Não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos para os índices analisados ($p > 0,05$). Considerando os diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória, durante o exercício a perda de líquidos modificou a dinâmica não linear do grupo com menor aptidão. No período pós-exercício não foram encontradas diferenças entre os protocolos

e interação momento vs protocolo ($p>0,05$), contudo diferenças foram observadas entre os momentos ($p<0,05$). O grupo com menor capacidade funcional apresentou melhor recuperação no PH para os índices REC, DET, SampEn, SD1 e relação SD1/SD2 e o grupo com maior condicionamento apresentou melhor recuperação no PH para os índices SampEn e SD1. **Conclusão:** O protocolo de hidratação utilizado não influenciou o período de exercício, porém acelerou a recuperação da dinâmica não linear da FC de coronariopatas. Considerando os diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória, o protocolo de hidratação minimizou a alteração não linear durante o exercício dos indivíduos com menor capacidade funcional e ainda teve maiores efeitos nesses indivíduos durante a recuperação.

Palavras-chave: Sistema Nervoso Autônomo; Dinâmica não linear; Recuperação; Aptidão Cardiorrespiratória; Exercício; Doenças Cardiovasculares; DFA

Abstract

Introduction: The presence of cardiovascular diseases and a reduced cardiorespiratory fitness are factors that delay post-exercise autonomic recovery. This condition contributes to a worse clinical prognosis and favors the appearance of ischemia and arrhythmia after exercise. Thus, strategies capable of accelerate the post-exercise recovery of individuals with these characteristics should be investigated. **Aim:** To investigate the hydration influence on the non-linear dynamic of heart rate (HR) during exercise and recovery of coronary artery disease subjects and to investigate this response considering different levels of cardiorespiratory fitness. **Methods:** 31 coronary artery disease males were submitted to the following experimental procedure: I. Maximum stress test, that determined the exercise load used in the next stages (60-80% of HR achieved at anaerobic threshold) and based on the VO₂peak median, the sample was divided into group worse (n = 15) and better (n = 16) cardiorespiratory fitness; II. Control protocol (CP) and III. Hydration protocol (HP) were analogous to a cardiac rehabilitation session, and composed by initial rest, warming-up, aerobic exercise and recovery. At the end of CP, the amount of fluid lost by each volunteer during the experiment was determined and at HP this amount was replaced with 8 equal portions of mineral water during the exercise and recovery periods in regular intervals of 10 minutes. To the analysis of non-linear dynamic of HR during the exercise and recovery periods were calculated the indexes of recurrence *plot* (REC, DET, SampEn and ApEn), of detrended fluctuation analysis (DFA-total, Alpha-1 and Alpha-2), and of symbolic analysis (0V, 1V, 2LV and 2ULV). To the evaluation of the hydration influence considering different cardiorespiratory fitness were considered the indexes of recurrence plot and Poincaré plot (SD1, SD2 and SD1/SD2 ratio). **Results:** During exercise the responses observed were physiological and do not altered with the hydration, however to the recovery analysis, there was interaction between the protocols for the indexes: REC ($p = 0,015$) and Alpha-1 ($p = 0,039$), also differences between the moments were found for all indexes ($p < 0,01$). During HP the recovery of all indexes occurred between the 5th and 20th minutes of recovery, while during CP only the indexes DFA-total, 1V and 2LV recovered within the 60 minutes period. There were no differences between the protocols for all indexes analyzed ($p > 0,05$). Considering the different levels of cardiorespiratory fitness, during exercise, the fluid loss modified the non-linear dynamic of HR only of the less conditionate subjects. During the post-exercise recovery there were no differences between the protocols and no interaction between moments and protocol ($p > 0,05$), however differences between the moments were observed ($p < 0,05$). The group with low

cardiorespiratory fitness presented better recovery during the HP for the indexes REC, DET, SampEn, SD1 and SD1/SD2 ratio and the group with higher aerobic fitness presented a better recovery only for the indexes SampEn and SD1. **Conclusion:** The hydration protocol performed do not influenced the exercise period, however, was able to accelerate the recovery of non-linear dynamic of HR of coronary artery disease subjects. Considering the different levels of cardiorespiratory fitness, the hydration protocol minimized the non-linear perturbations during exercise of the less conditionate subjects and had a higher influence at the recovery of these individuals.

Keywords: Autonomic Nervous System; Non-linear Dynamic; Recovery; Cardiorespiratory Fitness; Exercise; Cardiovascular Diseases; DFA.

Os programas de reabilitação cardiovascular (PRC) constituem uma importante estratégia de tratamento para os indivíduos com doenças cardiovasculares (DCV)¹, uma vez que promovem importantes efeitos benéficos para esses indivíduos, dentre eles melhora da qualidade de vida² e capacidade funcional³ e diminuição das taxas de hospitalização e mortalidade². A melhora desses desfechos está relacionada a prática regular de exercício físico, que é o principal componente desses programas⁴.

Durante e após o exercício físico o sistema nervoso autônomo (SNA) é responsável, pelo menos em parte, pela promoção das alterações necessárias para que o corpo seja capaz de se adaptar e suprir as diferentes demandas metabólicas⁵. Para isso, durante o esforço há o aumento da atividade do sistema nervoso simpático (SNS) e redução da atuação parassimpática. Por outro lado, após o fim da atividade, no período de recuperação, em um primeiro momento ocorre a reentrada vagal e, em seguida, há a redução gradual da atuação do SNS, promovendo a desaceleração cardiovascular⁵.

O período pós-exercício é o momento em que as adaptações ao exercício acontecem e o organismo se torna apto a realizar uma nova atividade^{6,7}. Porém, em função das diversas alterações fisiológicas que ocorrem após a interrupção do esforço físico, esse período está relacionado a uma maior vulnerabilidade do sistema cardiovascular, o que favorece a ocorrência de eventos adversos como, por exemplo, as síncope⁷ e arritmias⁸.

O tempo que o organismo leva para se recuperar do exercício é de extrema importância, visto que uma lenta recuperação está relacionada a maiores taxas de mortalidade e ocorrência de eventos cardiovasculares^{9,10}. E ainda, a velocidade de recuperação sofre influência de fatores relacionados ao indivíduo, a modalidade do exercício (máximo ou submáximo, longa ou curta duração)¹¹ e a característica da recuperação, como por exemplo a posição em que foi realizada (em pé, sentado, deitado),

a forma que foi realizada (ativa ou passiva)¹¹ e se houve a aplicação de técnicas recuperativas^{12,13}.

Os indivíduos com DCV apresentam uma lenta recuperação pós-exercício, que ocorre por conta de uma hiperatividade do SNS^{14,15}, que se desenvolve a fim de compensar o prejuízo funcional do coração¹⁶, mas que prejudica o processo de desaceleração cardiovascular após o exercício¹⁵, mantendo o trabalho cardíaco e o consumo de oxigênio pelo miocárdio elevados por mais tempo, o que favorece o desenvolvimento de eventos isquêmicos e arrítmicos no período⁸.

Além disso, outra característica, relacionada ao indivíduo, que influencia a velocidade de recuperação, é o nível de aptidão cardiorrespiratória¹⁷, pois os indivíduos menos condicionados possuem um maior comprometimento da atividade vagal¹⁸, o que contribui para uma lenta recuperação após o exercício^{17,18}.

Quando tomadas em conjunto, essas informações revelam que a população que apresenta DCV possui de maneira associada duas características que comprometem a recuperação autonômica pós-exercício^{14,17} e podem favorecer a ocorrência de eventos agudos durante a recuperação⁸ e piorar o prognóstico desses indivíduos¹⁹. Sendo assim, o estudo de técnicas e estratégias capazes de acelerar a recuperação autonômica dessa população se torna essencial. Nesse sentido, em indivíduos jovens saudáveis e no meio esportivo diferentes técnicas têm se mostrado eficientes na otimização do processo de recuperação, com destaque para as técnicas de massagem¹³, utilização de roupas de compressão²⁰, imersão em água fria²¹ e reposição hidroeletrólítica²².

Dessas estratégias, para quem atua nos PRC a reposição de líquidos se destaca, visto que pode ser facilmente implementada nesses programas e já foi demonstrado que a hidratação feita com água ou bebida isotônica durante e após exercício aeróbio submáximo (60% do $\text{VO}_{2\text{pico}}$) é eficaz na aceleração da recuperação autonômica de

indivíduos jovens saudáveis²³. Contudo, até o momento, não foram encontrados na literatura estudos que avaliaram os efeitos da perda de líquidos bem como da sua reposição sobre o SNA de indivíduos com DCV submetidos a uma sessão de reabilitação cardiovascular ou que consideraram a possível influência do nível de aptidão cardiorrespiratória desses indivíduos na eficiência da técnica.

O SNA pode ser analisado por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), um método capaz de avaliar o comportamento da modulação autonômica, por meio da análise das séries temporais de intervalos RR utilizando métodos lineares e/ou não lineares²⁴. Os métodos lineares quantificam a magnitude da variação entre os intervalos RR consecutivos ao redor da média da série ou por meio de faixas de frequências predeterminadas, já os métodos não lineares avaliam a qualidade e as propriedades de correlação da série, fornecendo informações sobre previsibilidade, fractalidade e complexidade²⁵.

Tradicionalmente, os métodos lineares são os mais utilizados na literatura, porém, atualmente os métodos não lineares têm ganhado destaque, pois consideram a característica complexa dos sistemas de controle do organismo e por isso fornecem informações adicionais que complementam os achados obtidos por meio da análise linear²⁵, e ainda, se mostraram mais sensíveis na detecção de alterações que precedem a ocorrência das taquicardias ventriculares²⁶. Porém, a compreensão dos métodos não linear depende do entendimento de alguns conceitos relacionados à teoria do caos. São eles:

I) *Sistema complexo*: um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos que interagem entre si. Um sistema é considerado complexo quando o resultado da interação dos elementos não é previsível com base nas características iniciais

do sistema, e ainda, a análise dos elementos separadamente não reflete o comportamento do sistema (Figura 1)²⁷.

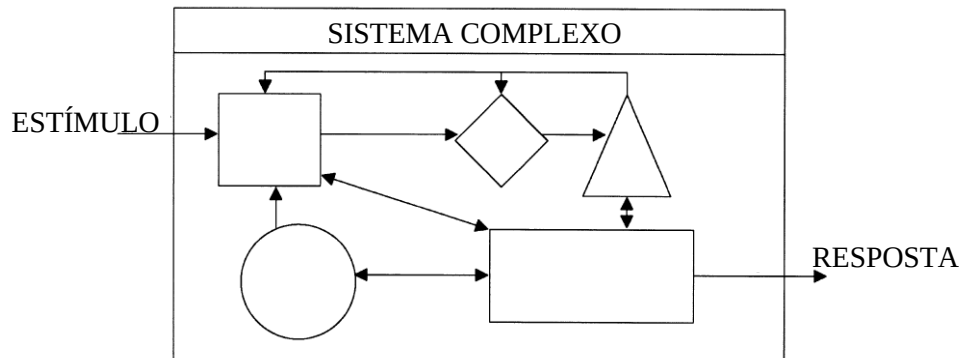


Figura 1. Representação de um sistema complexo. Formas geométricas: elementos que compõem o sistema. Setas: maneira com que os elementos interagem – observa-se vasta rede de interações que permitem diversos tipos de interação. Os elementos sob determinada situação respondem a um estímulo de maneira particular produzindo uma resposta específica. (Adaptado de Higgins²⁷: *Nonlinear Systems in Medicine*, 2002).

II) Comportamento fractal: pode ser definido com base na propriedade de auto similaridade, em que uma micro estrutura ou uma pequena parte do sistema, chamada de sub-unidade, remete a macro-estrutura do sistema, porém não é igual a ela (Figura 2)²⁸.

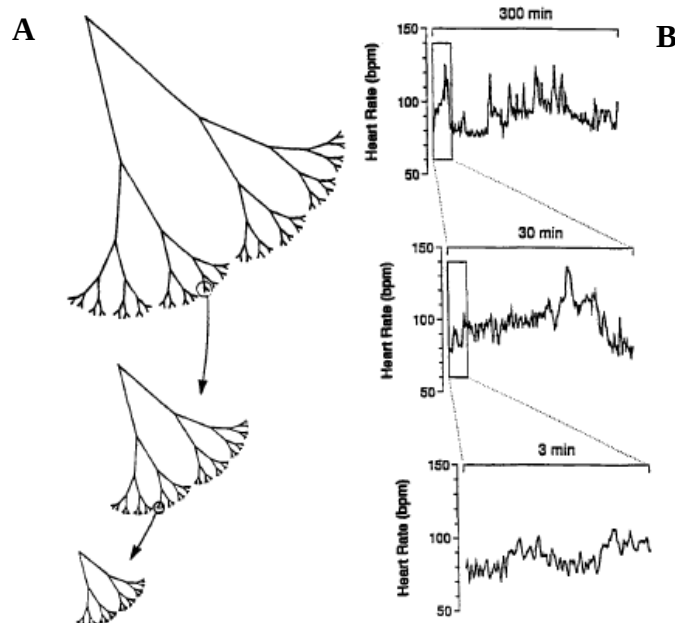


Figura 2. Comportamento fractal. A: estrutura auto similar, ex. galhos de árvore, árvore brônquica. **B:** dinâmica auto similar, ex. série temporal de batimentos cardíacos. (Adaptado de Goldberger²⁸: *Fractals in Anatomy and Physiology*, 1997).

Diante desses conceitos, a característica complexa e não linear do controle do SNA sobre a frequência cardíaca se torna evidente, uma vez que os mecanismos envolvidos na geração e controle dos batimentos cardíacos são vários (ex. barorreceptores aórticos e carotídeos e mecano e quimiorreceptores musculares) e estão a todo momento interagindo entre si e sofrendo influência de inúmeros outros fatores (ex. frequência respiratória e posição do corpo)^{27,29}. O que é uma das características principais dos sistemas não lineares complexos²⁹, em que as “*partes simples do sistema interagem de tal forma que o comportamento do sistema todo se torna complexo e não pode ser previsto apenas com base na estrutura e função de suas partes*”, como definido por Higgins (Figura 1)²⁷.

Ainda, é importante destacar que o nível de atividade dos ramos simpático e parassimpático do SNA é capaz de modificar a característica fractal e complexa das séries de intervalos RR³⁰, de modo que a predominância simpática diminui a variabilidade entre os intervalos RR consecutivos, portanto a correlação fractal da série diminui e o comportamento do sistema tende à linearidade, tornando-se mais previsível³⁰⁻³². Por outro lado, quando há predominância parassimpática, a variabilidade entre os intervalos RR aumenta, favorecendo o comportamento fractal e pouco previsível (Figura 3)³⁰⁻³².

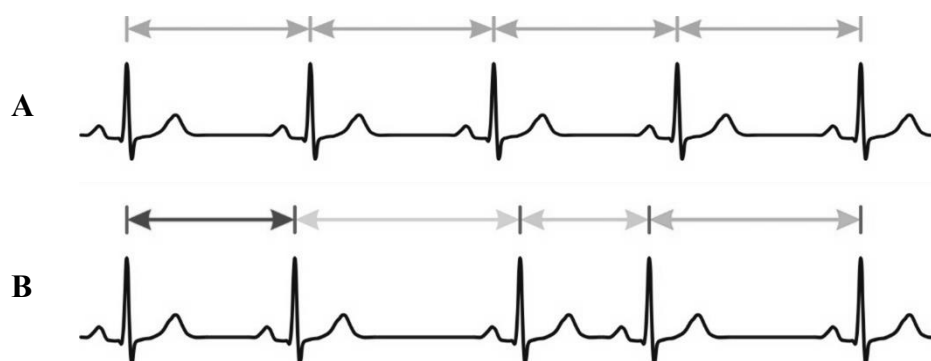


Figura 3. Variação entre os intervalos RR. **A:** predominância simpática, pouca variação, comportamento linear. **B:** predominância parassimpática, maior variação, comportamento fractal.

Apesar da característica complexa do SNA e das vantagens dos métodos não lineares, a relação entre complexidade e recuperação pós-exercício, foi abordada em poucos estudos e sua maioria avaliaram indivíduos jovens saudáveis^{31,33-36}. E ainda, os estudos que avaliaram essa temática se basearam em apenas um método de análise do comportamento não linear, sendo a análise de flutuações depurada de tendência (DFA) a mais utilizada^{31,33-36}.

Os estudos com indivíduos saudáveis revelaram que, durante o esforço físico de intensidade leve o organismo tende a um comportamento linear, enquanto que durante atividades mais intensas ele adquire uma característica aleatória³², comportamento que se relaciona ao aumento fisiológico da atividade do SNS²⁷. Já durante a recuperação, o reestabelecimento do sistema parassimpático, é acompanhado pelo aumento da complexidade³⁶.

Tomados em conjunto, esses dados apontam para algumas lacunas na literatura, ou seja, I) quais as características da dinâmica não linear da frequência cardíaca (FC) durante exercício e recuperação em pacientes com coronariopatia submetidos a uma sessão de reabilitação cardíaca? II) A perda de líquidos que ocorre durante uma sessão de reabilitação cardíaca modificará a dinâmica não linear da FC durante o exercício e/ou recuperação? Se houver alterações, quais são as suas características? III) As respostas serão de mesma magnitude quando diferentes níveis de capacidade aeróbia forem considerados? IV) A hidratação durante e após o exercício físico será capaz de amenizar possíveis alterações durante o exercício e acelerar a recuperação da dinâmica não linear da FC de coronariopatas independentemente do seu nível de aptidão cardiorrespiratória?

Hipotetizamos que a característica do comportamento não linear da FC em exercício e recuperação será semelhante entre os indivíduos coronariopatas de diferentes níveis de capacidade funcional e terá as mesmas características encontradas em jovens

saudáveis. No que diz respeito a influência da perda de líquidos, hipotetizamos que essa prejudicará a velocidade de recuperação autonômica e que a hidratação será capaz de amenizar seus efeitos negativos. E ainda, hipotetizamos que a velocidade de recuperação, quando não houver reposição de líquidos, será maior naqueles indivíduos com maior capacidade funcional, porém espera-se que a hidratação seja benéfica para os coronariopatas independentemente do seu nível de aptidão cardiorrespiratória.

Para responder a essas lacunas, foram elaborados dois manuscritos. O primeiro manuscrito, intitulado *“Influência da reposição hídrica na dinâmica não linear da frequência cardíaca nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular: ensaio clínico crossover”* teve como objetivo investigar a influência da hidratação, realizada durante e após o exercício físico, sobre a dinâmica não linear da frequência cardíaca nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular. Já o segundo manuscrito intitulado *“A hidratação durante e após o exercício traz maiores benefícios para a dinâmica não linear da frequência cardíaca de coronariopatas com menor aptidão cardiorrespiratória”* teve como objetivo investigar a influência da hidratação na dinâmica não linear da FC de coronariopatas com diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória durante os períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular.

Influência da reposição hídrica na dinâmica não linear da frequência cardíaca nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular: ensaio clínico crossover

RESUMO

Introdução: Indivíduos coronariopatas apresentam comprometimento da recuperação autonômica pós-exercício. Nesse sentido, a reposição hídrica surge como uma alternativa de fácil implementação nos programas de reabilitação para otimizar a recuperação desses indivíduos, porém sua eficácia foi estudada apenas em populações de jovens saudáveis. **Objetivo:** Investigar a influência da hidratação, realizada durante e após o exercício físico, sobre a dinâmica não linear da frequência cardíaca (FC) nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular. **Métodos:** 31 homens diagnosticados com doença arterial coronariana foram submetidos a um protocolo controle (PC) composto por repouso inicial, aquecimento, exercício em esteira e recuperação passiva e, posteriormente, a um protocolo hidratação (PH) composto pelas mesmas atividades do PC, porém durante os períodos de exercício e recuperação houve ingestão de água em quantidades equivalentes a massa corporal perdida no PC. A dinâmica não linear da FC foi avaliada por meio do plot de recorrência (REC, DET, SampEn), análise de flutuações depurada de tendência (DFA-total, Alfa-1, Alfa-2) e análise simbólica (0V, 1V, 2LV, 2ULV). **Resultados:** Em exercício as respostas observadas foram fisiológicas e não se alteraram com a hidratação, porém para a análise da recuperação houve interação entre os protocolos para os índices REC ($p = 0,015$) e Alfa-1 ($p = 0,039$) e foram encontradas diferenças entre os momentos para todos os índices ($p < 0,01$). No PH a recuperação de todos os índices ocorreu entre o 5º e 20º min de recuperação, enquanto no PC apenas os índices DFA-total, 1V e 2LV se recuperaram dentro do período de 60 minutos. Porém, não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos para todos os índices analisados ($p > 0,05$). **Conclusão:** A hidratação realizada durante e após o exercício não influenciou o período de exercício, porém acelerou a recuperação da dinâmica não linear da FC de coronariopatas.

Palavras-chave: Reabilitação Cardíaca; Hidratação; Complexidade; Sistema Nervoso Autônomo; DFA; Recuperação passiva

INTRODUÇÃO

Indivíduos com doenças cardiovasculares (DCV) apresentam um comprometimento autonômico caracterizado pela hiperatividade simpática e redução da modulação vagal¹. Essa alteração é responsável por retardar a recuperação pós-exercício dos sistemas cardiovascular e autonômico nesses indivíduos². Já foi descrito na literatura

que a velocidade de recuperação desses sistemas após o exercício físico tem um significativo valor prognóstico³ e está relacionada ao risco de ocorrência de eventos cardiovasculares agudos nesse período, como isquemias e arritmias⁴.

Considerando que a prática de exercício físico é um componente essencial dos programas de reabilitação cardiovascular (PRC)⁵, é fundamental o estudo do período pós-exercício e de técnicas capazes de otimizar a recuperação dos indivíduos com DCV, visando minimizar os riscos relacionados a esse período e contribuir para o aumento da segurança desses programas.

Diversas são as técnicas capazes de acelerar a recuperação pós-esforço físico^{6,7}, dentre elas, a reposição de líquidos realizada durante e após o exercício físico é capaz de acelerar a recuperação cardiorrespiratória e autonômica de jovens saudáveis^{8,9}.

Especificamente em relação a modulação autonômica, utilizando índices lineares de variabilidade da frequência cardíaca (VFC), já foi demonstrado em jovens saudáveis que a hidratação feita com água ou bebida isotônica durante e após exercício aeróbio submáximo de intensidade moderada é capaz de acelerar a recuperação autonômica⁸. Porém, apesar do importante papel que o sistema nervoso autônomo (SNA) desempenha no controle das modificações que ocorrem durante e após o exercício físico¹⁰ e das alterações que ocorrem nesse sistema em pacientes com DCV^{1,2}, estudos abordando a eficácia dessa técnica em indivíduos com DCV, bem como os efeitos da perda de líquidos no SNA em cardiopatas durante o exercício físico são desconhecidos na literatura até o momento.

É importante destacar que o SNA têm característica não linear e complexa¹² e apesar da ampla utilização dos métodos lineares da VFC para a análise da recuperação autonômica¹³, o estudo pelos métodos baseados na teoria do caos tem ganhado destaque na literatura¹⁴, uma vez que podem fornecer informações mais amplas, fidedignas e

completas a respeito do comportamento desses sistemas, complementando os dados obtidos pelos métodos lineares¹⁴. E ainda, a análise não linear se mostrou mais sensível do que a linear para a detecção de alterações que precedem as taquiarritimias, informação que fortalece a sua importância e abre um importante e promissor campo de estudo na prática clínica^{14,15}. Apesar dessas informações, os estudos que avaliaram o comportamento não linear no contexto do exercício e recuperação são escassos, e dentre eles, a maioria considerou a população de jovens saudáveis e baseou-se em apenas um método de análise não linear, sendo a análise por meio das flutuações depuradas de tendência (DFA) a mais utilizada¹⁶⁻¹⁸.

Diante dessas informações, esse estudo teve como objetivo principal investigar a influência da hidratação, realizada durante e após o exercício físico aeróbio moderado, sobre a dinâmica não linear da FC no período de recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular. E ainda, como objetivo secundário, avaliar a influência da perda de líquidos bem como sua reposição na dinâmica não linear da FC no período de exercício. Hipotetizamos, que a hidratação será capaz de acelerar a recuperação autonômica dos indivíduos, e ainda, amenizar as possíveis influências negativas da desidratação na dinâmica não linear durante o período de exercício.

MATERIAIS E MÉTODOS

População

Este estudo transversal crossover não-randomizado e aberto avaliou 31 homens, participantes de um PRC por no mínimo 3 meses, diagnosticados previamente por seu médico cardiologista com coronariopatia isquêmica e fração de ejeção do ventrículo esquerdo acima de 50%, que sofreram ou não infarto agudo do miocárdio e que segundo

a classificação funcional da New York Heart Association (NYHA) pertenciam às classes I e II¹⁹.

O recrutamento dos voluntários foi realizado por meio da análise prévia dos prontuários de indivíduos participantes de dois PRC na cidade de Presidente Prudente – SP, Brasil quanto aos critérios de elegibilidade, que posteriormente foram convidados a participar do estudo.

Não foram incluídos no estudo indivíduos que apresentassem uma das seguintes características que contraindicam a realização de exercício físico: angina instável, doença valvular significativa, doenças respiratórias, hipertensão arterial e diabetes *mellitus* não controladas, distúrbios renais e hepáticos importantes, miocardite, distúrbios eletrolíticos, respostas hemodinâmicas anormais durante teste de esforço máximo e problemas ortopédicos e neurológicos que impedissem a realização do procedimento experimental. E ainda, visando a confiabilidade dos dados referentes a modulação autonômica²⁰, não foram incluídos indivíduos tabagistas e etilistas e foram excluídos aqueles que apresentaram erro superior a 5% na série temporal de intervalos RR.

O tamanho da amostra foi definido a partir dos resultados obtidos em um projeto piloto para os dados de Entropia da Amostra (SampEn), um índice não linear da VFC, que avalia a complexidade da série RR¹⁴, que se mostrou consistente em diversas situações, sofrendo pouca influência do tamanho da série temporal²¹, e ainda, apresenta correlação com os índices lineares²². A magnitude da diferença significativa adotada foi de 0.2575 e considerando um desvio padrão de 0.3545, com nível de significância de 5% e poder de 80%, o tamanho amostral resultou em no mínimo 30 voluntários, porém tendo em vista possíveis perdas foi acrescido 10% a esse valor, totalizando 33 indivíduos.

O estudo foi registrado no clinicaltrials.com (NCT03198806) e aprovado pelo Comitê de ética em pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP

(CAAE: 54864716.8.0000.5402) seguindo a Declaração de Helsinki e todos os voluntários, após concordarem em participar da pesquisa, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Procedimento Experimental

O estudo foi realizado em três etapas com intervalo mínimo de 48 horas entre elas (Figura 1). Na primeira etapa, os voluntários foram submetidos a um teste de esforço máximo, com o objetivo de avaliar as suas respostas hemodinâmicas e auxiliar a prescrição da intensidade do exercício realizado nas etapas seguintes, definida em 60-80% do valor de frequência cardíaca obtida no limiar anaeróbio (LA) ou VO_{2pico} , para aqueles que não atingiram o LA²³.

A segunda etapa consistiu no protocolo controle (PC), composto pelas mesmas atividades que normalmente integram uma sessão dos PRC: repouso inicial, aquecimento, exercício aeróbio realizado em esteira rolante, desaquecimento e recuperação. A terceira etapa foi o protocolo hidratação (PH), composto pelos mesmos procedimentos do PC, porém durante o exercício e a recuperação houve ingestão de água mineral (Bonafont, Brasil). Visando a confiabilidade dos dados, os voluntários foram orientados a se absterem de substâncias estimulantes como café, refrigerantes e chás e a não realizarem atividades físicas intensas durante as 24 horas prévias às três etapas²⁰.

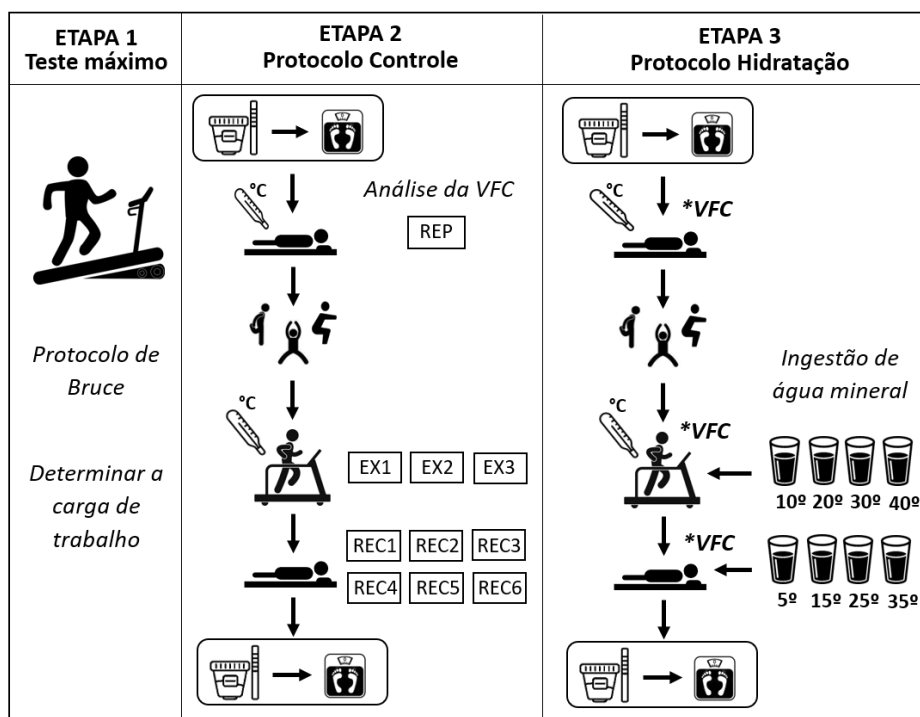


Figura 1. Procedimento experimental.

Teste de esforço máximo

O teste foi realizado em esteira ergométrica (*Super ATL*, Inbrasport, Brasil), de acordo com o protocolo máximo de Bruce²⁴, precedido por 5 minutos de aquecimento e sucedido por 5 minutos de recuperação. Os voluntários foram continuamente monitorados por meio de um eletrocardiograma (Active- Ecafif, Brasil), o teste foi acompanhado por um médico cardiologista e interrompido mediante exaustão voluntária.

O consumo de oxigênio (VO_2) foi determinado por meio da análise dos gases expirados e captados pelo sistema Quark PFT (Cosmed, Rome, Italy)²⁵, calibrado com volumes e gases de concentração conhecidos. A frequência cardíaca foi captada batimento a batimento pelo cardiofrequencímetro Polar RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finland).

Protocolo controle e hidratação

A fim de evitar a variação circadiana os protocolos foram realizados entre 13:30 e 18:00 horas em ambiente com temperatura e umidade controladas (21°C-23°C e 40-60%, respectivamente).

Antes do início dos protocolos foi coletada uma amostra de urina, para determinação do estado de hidratação, e em seguida foi mensurada massa corporal (Balmak, Premium Bk-200Fa, Brasil) e altura (ES 2020 - Sanny, Brasil). E ainda, o cardiofrequencímetro Polar RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finland) foi acoplado ao tórax do voluntário para a captura da FC batimento a batimento, que foi utilizada para o cálculo dos índices da VFC²⁶. Os voluntários foram monitorados por meio de um eletrocardiograma durante todo o protocolo.

Após esses procedimentos os voluntários permaneceram em repouso na posição supina durante 10 minutos, ao final desse período foi mensurada a temperatura axilar (BD Thermofácil, China) e coletados os seguintes parâmetros cardiovasculares para a caracterização da amostra: FC, pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD), obtidas de maneira indireta por meio de um estetoscópio (Littmann, Saint Paul, USA) e um esfigmomanômetro aneroide (Welch Allyn - Tycos, New York, USA) de acordo com a VII Diretriz Brasileira de Hipertensão Arterial²⁷.

Após o repouso inicial, foi realizado um aquecimento com duração de 15 minutos composto por alongamentos, exercícios ativos livres de membros inferiores e superiores e exercícios combinados, detalhados no Anexo 1. Na sequência, em uma esteira ergométrica foram realizados 40 minutos de exercício, seguidos por 5 minutos de desaquecimento, realizado com metade da carga do exercício, e nesse período, a temperatura axilar foi novamente aferida. Após o desaquecimento os voluntários permaneceram em posição supina durante 60 minutos, constituindo o período de

recuperação. Ao término da recuperação foi coletada uma nova amostra de urina e a massa corporal foi novamente mensurada.

No PH, durante o exercício e a recuperação houve ingestão de 8 porções iguais de água, oferecidas a cada 10 minutos a partir do 10º minuto de exercício²⁸. A quantidade total de água ingerida por cada voluntário foi obtida pelo cálculo da diferença entre a massa corporal no início e ao final do PC, considerando que um grama perdido equivale a um mililitro de líquido perdido²⁹.

Análise do nível de hidratação

A condição inicial de hidratação dos voluntários foi alcançada pela ingestão de 500ml de água 2 horas antes da execução dos protocolos²⁸. Para avaliação dessa condição, a amostra de urina obtida ao início e ao término dos protocolos foi analisada (Combur 10 M teste, Roche®, Brasil) e a densidade específica da urina foi utilizada como marcador do nível de hidratação³⁰, classificando os indivíduos em euidratados quando a densidade foi menor que 1,020 e desidratados quando a densidade estava acima desse valor²⁸.

Análise dos períodos de exercício e recuperação

Os índices da VFC foram analisados nos seguintes momentos: 5º - 10º minuto de repouso (REP), 15º - 20º (EX1), 25º - 30º (EX2), 35º - 40º (EX3) minuto do exercício, 0 - 5º (REC1), 5º - 10º (REC2), 15º - 20º (REC3), 25º - 30º (REC4), 40º - 45º (REC5) e 55º - 60º (REC6) minuto de recuperação¹³, sendo obtidos pelo menos 256 intervalos RR consecutivos em cada momento³¹.

Para a obtenção dos índices, as séries de intervalos RR foram submetidas a uma filtragem digital (Polar Precision Performance SW - versão 5.0) seguida por uma

filtragem manual, que eliminou os batimentos ectópicos prematuros e artefatos²⁰. Somente séries com mais de 95% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo³².

Para a análise não linear da VFC foram utilizados os seguintes métodos:

I) Análise de flutuações depurada de tendências (DFA): cálculo da raiz quadrada da média das flutuações de séries temporais integradas e depuradas de tendência³³. Foram calculados: o DFA total, o expoente escalar alfa de curto prazo (alfa-1) com períodos de 4 a 11 batimentos e o expoente escalar alfa de longo prazo (alfa-2) com o restante da série³³. Classificam a série em aleatória, fractal ou linear de acordo com os valores de referência 0.5, 1.0 e 1.5, respectivamente³³;

II) Plot de recorrência: representa a reconstrução da trajetória espacial da série temporal de intervalos RR³⁴. Do gráfico formado foram extraídos os seguintes índices: taxa de recorrência (REC), representando a porcentagem de pontos recorrentes, determinismo (DET), definido como a porcentagem de pontos que recorrem em diagonal³⁵, que representam a previsibilidade da série, e entropia da amostra (SampEn), que ilustra a complexidade da série²¹;

III) Análise simbólica: avalia a quantidade e o tipo de variação existente entre 3 intervalos RR consecutivos, classificando-os nas seguintes famílias: 0V (nenhuma variação, representando a modulação simpática), 1V (uma variação, representando a modulação global), 2LV (duas variações iguais) e 2ULV (duas variações diferentes), ambos representando a modulação parassimpática^{36,37}.

Os índices do DFA foram calculados pelo software disponível na PhysioNet³⁸. Os índices do plot de recorrência foram obtidos por meio do software Kubios HRV – versão 2.0³⁹. A análise simbólica foi realizada pelo software Symbolic Analysis fast version – versão 4.0 Universita' degli Studi di Milano, Itália, 2005.

Análise estatística

A normalidade dos dados foi definida pelo teste Shapiro-Wilk. A comparação entre os momentos de um mesmo protocolo para as variáveis massa corporal, temperatura corporal e densidade específica da urina foi realizada pelo teste t de Student para dados pareados com distribuição normal ou teste de Wilcoxon para dados não normais, já a comparação entre os protocolos foi feita pelo teste t de Student ou Mann Whitney, de acordo com a normalidade.

Para os índices da VFC, as comparações entre os protocolos e momentos foram realizadas pela ANOVA *two-way* para medidas repetidas (considerando protocolos e momentos). A esfericidade foi checada pelo teste de Mauchly e nos casos em que foi violada a correção de Greenhouse-Geisser foi utilizada. Para a análise dos momentos foi utilizado o pós-teste de Bonferroni para distribuições normais e Dunnet para não normais. O tamanho de efeito *eta-squared* parcial também foi avaliado. A significância estatística foi fixada em 5%. As análises foram realizadas no software IBM SPSS Statistics – versão 22.0 (IBM Corp, Armonk, New York).

RESULTADOS

Participaram do estudo 39 indivíduos, porém 2 voluntários não realizaram todas as etapas do procedimento experimental e 3 foram excluídos por apresentarem erro superior a 5% na série temporal de intervalos RR, assim, foram analisados 31 indivíduos (Figura 2) cujos dados de caracterização estão apresentados na Tabela 1.

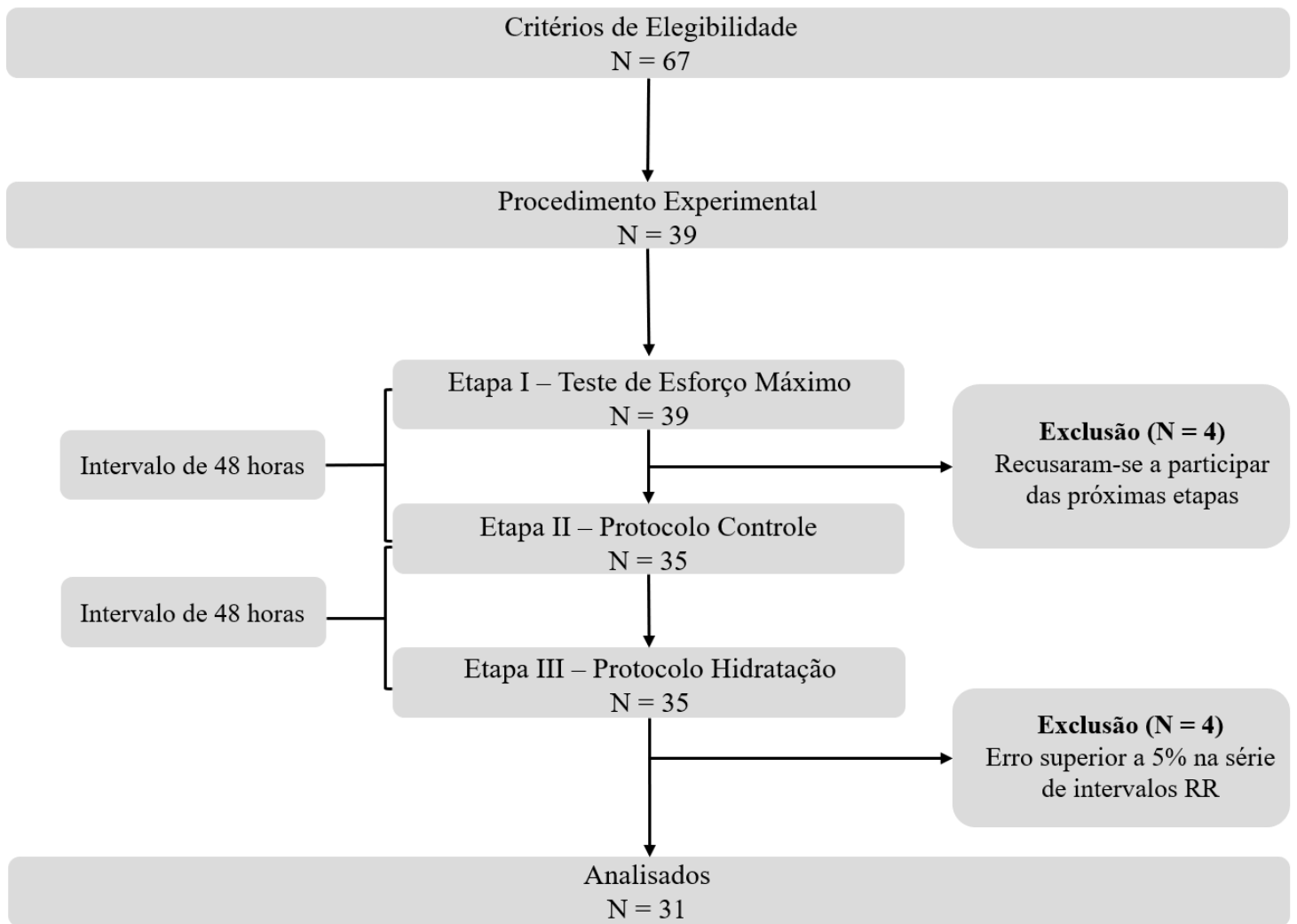


Figura 2. Fluxograma de perdas.

Tabela 1. Caracterização da amostra (N = 31).

Variável	Média ± Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Idade (anos)	63,55 ± 8,26	45,00	83,00
Peso (Kg)	80,84 ± 12,59	58,00	108,50
Estatura (m)	1,71 ± 0,06	1,58	1,81
IMC (Kg/m ²)	27,63 ± 4,10	20,62	39,37
Tempo de tratamento (anos)	3,33 ± 4,82	0,25	17,76
FC repouso (bpm)	63,48 ± 8,26	49,00	78,00
PAS (mmHg)	116,77 ± 9,09	100,00	140,00
PAD (mmHg)	75,81 ± 7,65	60,00	90,00
VO ₂ pico (ml/Kg/min)	27,28 ± 6,53	14,28	38,78
FC máx (bpm)	138,87 ± 22,16	98,00	173,00
Carga PC e PH (Km/h)	4,82 ± 0,76	3,20	6,00
Água total ingerida no PH (ml)	590,32 ± 185,03	200,00	1000,00
Fatores de Risco		N (%)	
Diabetes		14 (45,20)	
Dislipidemia		22 (71,00)	
Hipertensão arterial		27 (87,10)	
Obesidade		7 (22,60)	
Histórico familiar		20 (64,50)	
Ex-tabagista		14 (45,20)	
Medicamentos		N (%)	
Anticoagulante		24 (77,40)	
Betabloqueador		21 (67,70)	
ARA II		10 (32,30)	
Bloqueador de canal de Ca ²⁺		9 (29,00)	
Bloqueador de canal de K ⁺		1 (3,20)	
IECA		6 (19,40)	
Diurético		9 (29,00)	
Vasodilatador		3 (9,70)	
Estatina		25 (80,60)	
Outros		11 (35,50)	

Legenda: Kg = quilograma; m = metro; bpm = batimentos por minuto; mmHg = milímetros de mercúrio; min = minuto; Km/h = quilômetro por hora; ml = mililitro; % = porcentagem; ARA II = antagonista dos receptores de angiotensina II; Ca²⁺ = cálcio; K⁺ = potássio; IECA = inibidor da enzima conversora de angiotensina.

Os dados relacionados ao estado de hidratação dos voluntários estão apresentados na Tabela 2, que evidencia uma redução significativa da massa corporal ao final de ambos os protocolos [PC: $p = 0,000$ – 590 ml (0,7%) e PH: $p = 0,026$ – 110 ml (0,1%)] e uma redução significativa da temperatura axilar ($p = 0,042$) e da densidade específica da urina ($p = 0,000$) ao final do PH. Para a comparação entre os protocolos não foi encontrada significância para essas variáveis ($p > 0,05$).

Tabela 2. Variáveis relacionadas ao estado de hidratação dos voluntários antes e após o PC e o PH.

Variável	Momento	PC	PH
Massa Corporal (Kg)	Inicial	81,45 ± 12,41	81,31 ± 12,35
	Final	80,86 ± 12,39	81,20 ± 12,36
Temperatura Axilar (°C)	Inicial	35,17 ± 0,79	35,27 ± 1,04
	Final	35,03 ± 1,01	34,82 ± 1,06
Densidade Específica da Urina	Inicial	1,015 ± 0,005	1,016 ± 0,004
	Final	1,017 ± 0,016	1,012 ± 0,004

Média ± Desvio padrão. Valores em negrito: diferença significativa ($p < 0,05$) para a comparação entre os momentos de um mesmo protocolo [Teste t de Student pareado (variável massa corporal) ou teste de Wilcoxon (variáveis temperatura axilar e densidade específica da urina)]. Legenda: Kg = quilograma; °C = graus Celsius; PC = protocolo controle; PH = protocolo hidratação.

Os dados dos índices não lineares da VFC para a análise do período de exercício em relação ao repouso em ambos os protocolos estão apresentados na Tabela 3. Não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos e para a interação momento vs protocolo ($p > 0,05$), porém foram encontradas diferenças entre os momentos ($p < 0,05$), exceto para os índices SampEn, Alfa-1 e 2ULV, que não apresentaram alterações significativas.

Durante o exercício, em ambos os protocolos foi observado aumento significativo dos valores dos índices REC, DFA-total e Alfa-2 e redução significativa do índice 2LV em relação ao período de repouso. O índice 0V apresentou aumento

significativo somente no PC e o índice DET se elevou de maneira significativa apenas durante o PH.

Tabela 3. Comparação entre os momentos de exercício e repouso para os protocolos controle e hidratação (N = 31).

Índice	Protocolo	Momento				p _{valor} (η^2_p)	
		Repouso	EX1	EX2	EX3		
Plot de recorrência	REC	PC	34,5±8,74	40,69±8,16	42,41±8,26	43,28±6,72	Mmt: 0,000 (0,209)
		PH	36,00±9,33	45,26±13,57	43,68±8,91	42,23±6,96	Int: 0,242 (0,023)
	DET	PC	98,03±1,69	98,74±1,32	98,93±1,13	99,16±0,86	Mmt: 0,000 (0,179)
		PH	98,25±1,41	99,05±1,14	99,01±1,11	99,16±0,79	Int: 0,687 (0,005)
	SampEn	PC	1,51±0,36	1,39±0,35	1,41±0,30	1,31±0,36	Mmt: 0,085 (0,039)
		PH	1,42±0,38	1,38±0,37	1,39±0,33	1,32±0,24	Int: 0,779 (0,005)
Análise do DFA	DFA total	PC	1,03±0,13	1,10±0,14	1,11±0,13	1,11±0,15	Mmt: 0,000 (0,124)
		PH	1,05±0,16	1,12±0,12	1,13±0,14	1,12±0,14	Int: 0,967 (0,001)
	ALFA-1	PC	0,99±0,30	0,95±0,27	0,99±0,25	0,99±0,25	Mmt: 0,449 (0,012)
		PH	1,05±0,25	1,00±0,23	1,00±0,23	1,03±0,24	Int: 0,683 (0,004)
	ALFA-2	PC	1,01±0,11	1,10±0,17	1,10±0,15	1,11±0,20	Mmt: 0,000 (0,148)
		PH	1,01±0,20	1,13±0,14	1,13±0,20	1,11±0,15	Int: 0,873 (0,004)
Análise simbólica	0V	PC	26,47±16,22	32,00±14,90	33,54±14,20	38,19±14,93	Mmt: 0,003 (0,097)
		PH	27,69±17,49	36,52±15,78	36,18±14,81	33,79±13,13	Int: 0,237 (0,024)
	1V	PC	44,07±5,83	42,19±6,84	42,69±6,61	40,15±6,87	Mmt: 0,002 (0,081)
		PH	44,23±6,65	40,53±7,79	41,06±6,70	41,23±4,75	Int: 0,336 (0,019)
	2LV	PC	7,57±4,08	4,27±3,51	3,73±3,23	3,33±2,95	Mmt: 0,000 (0,301)
		PH	7,59±5,09	3,27±3,48	3,28±3,19	3,97±3,74	Int: 0,414 (0,013)
	2ULV	PC	21,89±14,74	21,55±9,06	20,03±7,19	18,33±7,25	Mmt: 0,559 (0,008)
		PH	20,50±12,88	19,66±10,88	19,61±20,96	20,96±8,32	Int: 0,365 (0,016)

Média±Desvio padrão. Valores em negrito: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos do exercício e o repouso {ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni [variáveis SampEn, DFA-total, Alfa-1 (PH), Alfa-2, 0V e 2ULV (PC)] e por pós-teste de Dunn [variáveis REC, DET, Alfa-1 (PC), 1V, 2LV e 2ULV (PH)]}. Legenda: EX1: 15 – 20° min; EX2: 25 – 30° min; EX3: 35 – 40° min; REC: taxa de recorrência; DET: determinismo; SampEn: entropia da amostra; DFA: análise das flutuações depuradas de tendência; 0V: nenhuma variação; 1V: uma variação; 2LV: duas variações iguais; 2ULV: duas variações diferentes; PC: protocolo controle; PH: protocolo hidratação; η^2_p : eta-squared parcial; Mmt: momentos; Int: interação.

A análise do período de recuperação para os índices do plot de recorrência, DFA e análise simbólica está exposta nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente. Para todos os índices não foram identificadas diferenças significantes entre os protocolos ($p > 0,05$), porém foi observada interação momento vs protocolo para os índices REC e Alfa-1 ($p < 0,05$) e para todos os índices foram identificadas diferenças significantes para a comparação entre os momentos ($p < 0,05$).

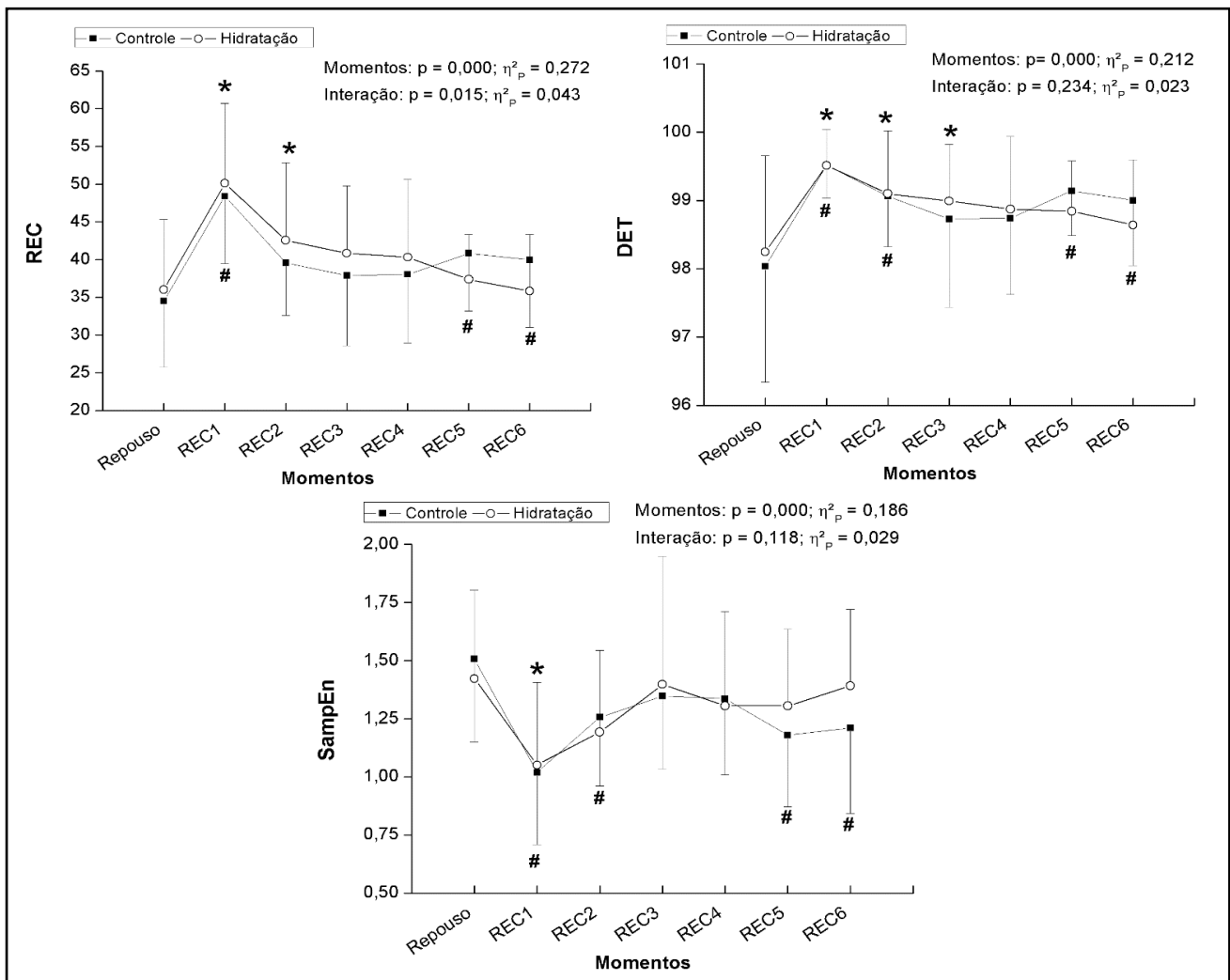


Figura 3. Diferenças entre os momentos de recuperação e o repouso para os índices do Plot de recorrência para ambos os protocolos. Legenda: # Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PC [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variável SampEn) e por pós-teste de Dunn (variáveis REC e DET)]; *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PH [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variável SampEn) e por pós-teste de Dunn (variáveis REC e DET)]; η^2_p : eta-squared parcial; REC = Taxa de recorrência; DET = Determinismo; SampEn = Entropia da amostra; REC1 = 0 – 5° min; REC2 = 5 – 10° min; REC3 = 15 – 20° min; REC4 = 25 – 30° min; REC5 = 40 – 45° min; REC6 = 55 – 60° min.

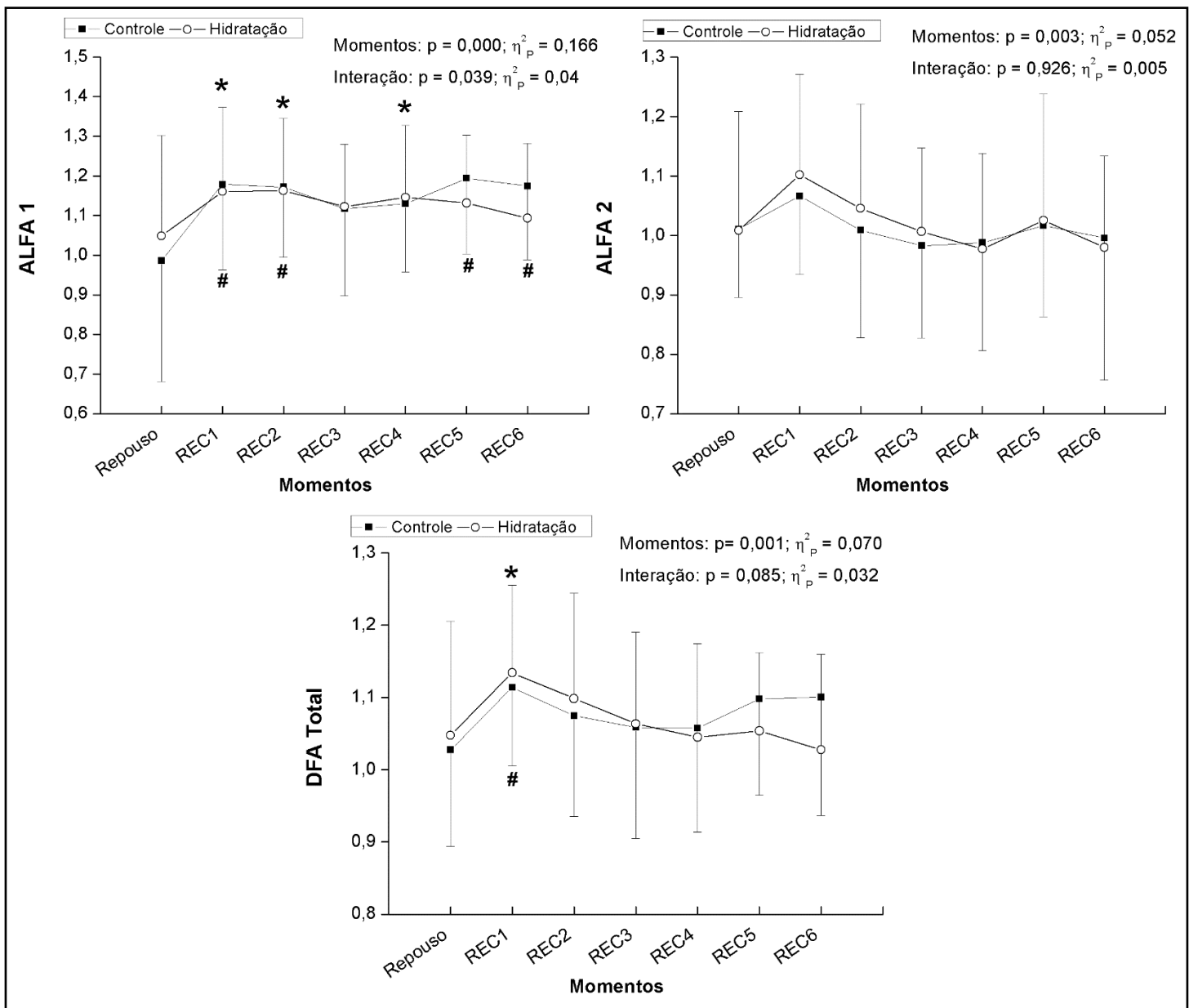


Figura 4. Diferenças entre os momentos da recuperação e o repouso para os índices da análise do DFA para ambos os protocolos. Legenda: # Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PC [ANOVA de duas vias para medidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variáveis DFA-total e Alfa-2) e por pós-teste de Dunn (variável Alfa-1)]; *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PH [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variáveis DFA-total, Alfa-1 e Alfa-2)]; η^2_p : *eta-squared* parcial; REC1 = 0 – 5° min; REC2 = 5 – 10° min; REC3 = 15 – 20° min; REC4 = 25 – 30° min; REC5 = 40 – 45° min; REC6 = 55 – 60° min; DFA = análise das flutuações depuradas de tendência.

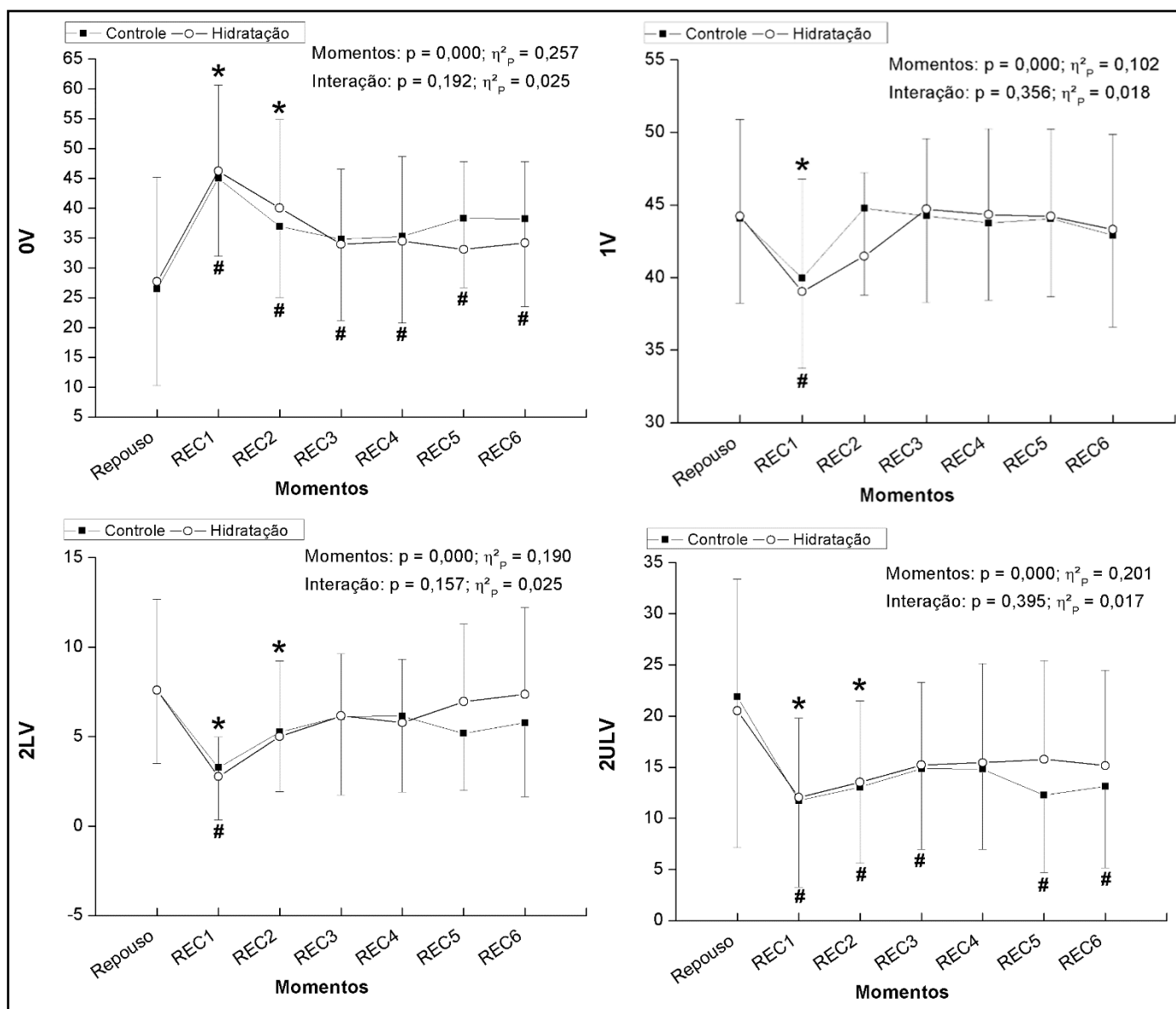


Figura 5. Diferenças entre os momentos de recuperação e o repouso para os índices da análise simbólica para ambos os protocolos. Legenda: # Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PC [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variáveis: 0V e 2ULV) e por pós-teste de Dunn (variáveis 1V e 2LV)]; *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos da recuperação e o repouso para o PH [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni (variável 0V) e por pós-teste de Dunn (variáveis 1V, 2LV e 2ULV)]; η^2_p : *eta-squared* parcial; REC1 = 0 – 5° min; REC2 = 5 – 10° min; REC3 = 15 – 20° min; REC4 = 25 – 30° min; REC5 = 40 – 45° min; REC6 = 55 – 60° min; 0V = nenhuma variação; 1V = uma variação; 2LV = duas variações iguais; 2ULV = duas variações diferentes.

No período de recuperação houve o reestabelecimento gradual dos índices para valores próximos aos registrados durante o repouso inicial em ambos os protocolos, sendo verificado aumento dos índices SampEn, 1V, 2LV e 2ULV e redução dos índices REC, DET, Alfa-1, Alfa-2, DFA-total e 0V após o exercício. Porém, o momento em que esse

reestabelecimento ocorreu foi diferente entre os protocolos, acontecendo de maneira antecipada no PH para a maioria dos índices. Somente os índices 1V e DFA-total se recuperaram no mesmo momento em ambos os protocolos e apenas o 2LV se recuperou mais rápido no PC.

DISCUSSÃO

O principal achado desse estudo revelou que a estratégia de hidratação adotada foi capaz de acelerar a recuperação autonômica dos indivíduos coronariopatas após uma sessão de reabilitação cardiovascular. Porém, durante o exercício aeróbio (60 – 80% da FC atingida no LA), a quantidade de líquido perdida não influenciou negativamente as respostas da dinâmica não linear da FC desses indivíduos. E ainda, esse foi o primeiro estudo, de nosso conhecimento, a avaliar a dinâmica não linear da FC de coronariopatas nas situações de exercício e recuperação e a considerar os possíveis efeitos da perda de fluídos bem como sua reposição nesses períodos.

O protocolo de exercício utilizado é análogo aos comumente realizados em PRC, e a redução de 0,7% da massa corporal ao final do PC evidenciou que, apesar de não terem sido observadas alterações significantes na densidade específica da urina, ocorreu perda de líquidos que aproximou-se de um estado de hipo-hidratação leve, caracterizado por uma redução superior a 1% do peso corporal⁴⁰. Demonstrando que mesmo em ambiente termoneutro (PC: 24,53±1,91; PH: 24,40±1,86 – p = 0,714) uma sessão de reabilitação promove perda significativa de líquido, capaz de influenciar negativamente o período de recuperação de coronariopatas.

Apesar dos efeitos deletérios da hipo-hidratação⁴¹, a perda de massa corporal durante o exercício, não foi suficiente para alterar de maneira significativa a dinâmica não linear da FC no período e as respostas encontradas foram fisiológicas^{1,16}. Foi

observado aumento da modulação simpática e redução da parassimpática, evidenciado pela elevação do índice 0V e redução do índice 2LV, respectivamente. A medida de entropia (SampEn) evidenciou a redução da complexidade e os índices REC e DET demonstraram o aumento da previsibilidade das séries. Já a elevação do DFA-total e de Alfa-2 mostrou o aumento da linearidade das séries temporais.

Esse comportamento é característico do exercício, uma vez que a predominância simpática diminui a variação entre os intervalos RR consecutivos, o que implica na elevação da característica linear e previsível e menos complexa da série^{10,16}. E ainda, outro fator fisiológico que pode contribuir para o comportamento menos complexo durante o exercício moderado é a relativa estabilidade entre os ramos do SNA e a simplificação dos sistemas do controle, o que está relacionado à atuação do mecanismo intrínseco de regulação da FC pelo nodo sinusal nesse período¹⁶. O mesmo comportamento não linear foi observado em atletas durante a realização de exercício aeróbico progressivo nas faixas de intensidades leve e moderada³⁷.

É importante salientar que a perda, em média, de $590,32 \pm 185,03$ ml de fluído, que representou 0,7% de perda da massa corporal, ocorreu ao longo de todo o período de experimento que compreendeu os períodos de exercício e recuperação, portanto é possível que a quantidade de líquido perdida somente no período de exercício tenha sido menor, não representando uma quantidade suficiente para influenciar as respostas não lineares da FC durante o exercício.

No período de recuperação os ajustes do sistema nervoso autônomo, que tem como objetivo a desaceleração cardiovascular⁴², favorecem o aumento da complexidade, diminuição da previsibilidade e aumento do comportamento fractal⁴³, o que foi encontrado no presente estudo para ambos os protocolos. A retomada vagal e a redução simpática, que ocorrem após a interrupção do exercício³⁸, foram evidenciadas pelo

aumento dos índices 2LV e 2ULV e redução do 0V, respectivamente. A elevação da medida de entropia (SampEn) demonstrou o aumento da complexidade, a redução da linearidade foi identificada pela diminuição dos valores de REC e DET e o retorno do sistema ao comportamento fractal foi evidenciado pelo retorno dos índices DFA-total e Alfa-1 para valores próximos a 1,00¹⁴.

Porém, quando os protocolos são comparados observa-se que alguns índices não se recuperaram totalmente no PC, demonstrando que mesmo após 60 minutos do término do exercício o organismo ainda não tinha se recuperado totalmente, o que para o indivíduo coronariopata pode representar um aumento do risco, visto que a permanência da reduzida complexidade após o exercício está relacionada a manutenção de uma elevada atividade simpática¹⁸ que favorece a ocorrência de eventos isquêmicos e arrítmicos durante a recuperação⁴. Por outro lado, quando houve a reposição de líquidos, todos os índices retornaram aos valores de repouso entre o 5º e o 20º minuto de recuperação.

A literatura aponta que os efeitos benéficos da hidratação podem estar relacionados a manutenção do volume intravascular e da osmolalidade sanguínea^{44,45}, visto que os quadros de desidratação cursam para uma redução da pressão venosa central e da osmolalidade plasmática, e nessas situações, para evitar quadros de hipotensão e manter constante o fluxo sanguíneo para os tecidos ocorre o aumento da sensibilidade barorreflexa, portanto há um maior predomínio do controle simpático sobre o sistema cardiovascular^{44,45}, o que justifica a pior recuperação autonômica que ocorre nos indivíduos desidratados. Porém, os estudos que demonstraram essas respostas foram realizados em indivíduos jovens saudáveis e atletas que realizaram exercícios prolongados, no calor e com redução do peso corporal acima de 1,5%⁴¹.

Considerando esses dados, a redução do peso corporal de 0,7% que ocorreu nos coronariopatas não seria suficiente para gerar modificações significativas de volume e

osmolalidade capazes de alterar as respostas cardiovasculares e autonômicas. De fato, durante exercício a perda não influenciou a resposta autonômica, porém durante a recuperação essa influência negativa ficou evidente. Essas informações sugerem que em indivíduos coronariopatas, que já apresentam um comprometimento autonômico e cardiovascular¹, prejuízos na recuperação da dinâmica da FC podem ocorrer em menores níveis de desidratação.

Após a interrupção do exercício o organismo deve rapidamente se reorganizar para retornar à condição de repouso e, para isso, ajustes precisos e rápidos são necessários¹⁰, contudo, em coronariopatas aparentemente pequenas perdas de líquidos podem influenciar negativamente a eficiência e rapidez desses ajustes. Além disso, esse comportamento pode estar relacionado também, pelo menos em parte, a mecanismos inerentes a condição de exercício, como a ação da bomba muscular e o deslocamento do sangue armazenado nas veias para a circulação sistêmica⁴⁶, os quais são interrompidos com a cessação do exercício, portanto a hiperatividade simpática, característica da população, associada a perda dos mecanismos compensatórios do exercício, como a cessação da bomba muscular, e a perda de líquidos, mesmo que pequena, podem explicar a lenta recuperação observada no PC.

A impossibilidade de realizar a randomização dos protocolos pode ser considerada como uma limitação do estudo. A hidratação foi realizada de forma individualizada de acordo com a quantidade de líquidos perdida por cada voluntário ao final do PC, portanto esse necessariamente deveria ser realizado antes do PH. Como todos os voluntários participantes deveriam estar vinculado a um PRC por pelo menos 3 meses, entendemos que os efeitos agudos da realização de uma sessão do PRC, não influenciaram os resultados obtidos. Além disso, não foi observado aumento da temperatura axilar ao

final do exercício como esperado, o que pode estar relacionado ao resfriamento da área de medida em função da transpiração e o controle da temperatura ambiente⁴⁰.

Como pontos fortes do estudo, entendemos que os resultados obtidos têm importante implicação clínica, pois a implantação de protocolos de hidratação durante e após os exercícios realizados nos PRC, uma técnica de baixo custo e fácil implementação, pode aumentar a segurança desses programas, uma vez que a lenta recuperação está relacionada a ocorrência de eventos súbitos após o exercício e a uma maior taxa de mortalidade⁴⁷. Além disso, os resultados obtidos evidenciam a importância do controle adequado da temperatura dos setores de reabilitação cardíaca e, indiretamente, da orientação dos pacientes quanto a importância da hidratação e do local e horário do dia para a realização das atividades não supervisionadas, visto que temperaturas elevadas podem promover uma perda hídrica ainda mais significativa, que quando não repostas, pode prejudicar de maneira mais intensa a recuperação autonômica pós-exercício, aumentando os riscos de eventos no período.

E ainda, esse estudo adiciona novas informações à literatura a respeito das características do comportamento não linear da FC de coronariopatas nos períodos de exercício e recuperação, que foram avaliadas por mais de um método, abordando diferentes aspectos relacionados ao domínio do caos, visto que até o momento não é de nosso conhecimento estudos que abordaram essa temática.

Novos estudos que abordem essa temática são necessários para melhor esclarecer os efeitos fisiológicos da hidratação e da desidratação em indivíduos coronariopatas, bem como os efeitos da utilização de outras estratégias de hidratação e a utilização de outros tipos de substâncias hidratantes, como as bebidas isotônicas. E ainda, que avaliem o efeito dessa técnica quando a recuperação ativa for realizada.

Diante desses resultados, conclui-se que o protocolo de hidratação proposto foi capaz de acelerar a recuperação da dinâmica não linear da FC após o exercício aeróbio moderado realizado nos modelos de uma sessão de reabilitação cardiovascular e que o volume de fluído perdido durante o exercício não influenciou as respostas do sistema nervoso autônomo.

REFERÊNCIAS

1. Floras JS, Ponikowski P. The sympathetic / parasympathetic imbalance in heart failure with reduced ejection fraction. *Eur Heart J*. 2015;36:1974–82.
2. Ushijima A, Fukuma N, Kato Y, Aisu N, Mizuno K. Sympathetic excitation during exercise as a cause of attenuated heart rate recovery in patients with myocardial infarction. *J Nippon Med Sch*. 2009;76(2):76–83.
3. Arena R, Guazzi M, Myers J, Peberdy MA. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure. *Am Hear J*. 2006;151(4):851.e7-13.
4. Qiu S, Cai X, Sun Z, Li L, Zuegel M, Steinacker JM, et al. Heart Rate Recovery and Risk of Cardiovascular Events and All-Cause. *J Am Hear Assoc*. 2017;6:1–12.
5. Price KJ, Gordon BA, Bird SR, Benson AC. A review of guidelines for cardiac rehabilitation exercise programmes: Is there an international consensus? *Eur J Prev Cardiol*. 2016;23(16):1715–33.
6. Rose C, Edwards KM, Siegler J, Graham K, Caillaud C. Whole-body Cryotherapy as a Recovery Technique after Exercise : A Review of the Literature Authors. *Int J Sport Med*. 2017;38:1049–60.
7. Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A. Massage and Performance Recovery : A Meta-Analytical Review. *Sport Med*. 2016;46(2):183–204.

8. Vanderlei FM, Moreno IL, Carlos L, Vanderlei M, Pastre CM, Abreu LC De, et al. Comparison of the effects of hydration with water or isotonic solution on the recovery of cardiac autonomic modulation. *Int J Sport Nutr Exe*. 2015;25(2):145–53.
9. Moreno IL, Pastre CM, Ferreira C, Abreu LC De, Valenti VE, Carlos L, et al. Effects of an isotonic beverage on autonomic regulation during and after exercise. *J Int Soc Sport Nutr*. 2013;10(2):1–10.
10. Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic Adjustments to Exercise in Humans. *Compr Physiol*. 2015;5:475–512.
11. Florea VG, Cohn JN. The Autonomic Nervous System and Heart Failure. *Circ Res*. 2014;114:1815–26.
12. Porta A, Rienzo M Di, Wessel N, Kurths J. Addressing the complexity of cardiovascular regulation. *Phil Trans R Soc A*. 2009;367:1215–8.
13. Peçanha T, Bartels R, Brito LC, Paula-Ribeiro M, Oliveira RS, Goldberger JJ. Methods of assessment of the post-exercise cardiac autonomic recovery: A methodological review. *Int J Cardiol*. 2017;227:795–802.
14. Godoy MF. Nonlinear Analysis of Heart Rate Variability : A Comprehensive Review. *J Cardiol Ther*. 2016;3(3):528–33.
15. Meyerfeldt U, Wessel N, Schutt H, Selbig D, Schumann A, Voss A, et al. Heart rate variability before the onset of ventricular tachycardia : differences between slow and fast arrhythmias. *Int J Cardiol*. 2002;84:141–51.
16. Gronwald T, Hoos O, Ludyga S, Hottenrott K. Non-linear dynamics of heart rate variability during incremental cycling exercise. *Res Sport Med*. 2018;1–11.
17. Gronwald T, Hoos O, Hottenrott K. Effects of a Short-Term Cycling Interval Session and Active Recovery on Non-Linear Dynamics of Cardiac Autonomic

- Activity in Endurance Trained Cyclists. *J Clin Med*. 2019;8(194).
18. Casties J, Mottet D, Le Gallais D. Non-Linear Analyses of Heart Rate Variability During Heavy Exercise and Recovery in Cyclists. *Int J Sport Med*. 2005;26:1–6.
 19. Harvey R et al. New York Heart Association Criteria Committee. In: Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels. 9th ed. Boston: Little, Brown; 1994. p. 286.
 20. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF de, Silva E da, Takahashi AC de M, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian J Phys Ther*. 2019;20.
 21. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2000;278:2039–49.
 22. Hoshi RA, Pastre CM, Vanderlei LCM, Godoy MF. Poincaré plot indexes of heart rate variability : Relationships with other nonlinear variables. *Auton Neurosci Basic Clin*. 2013;177(2):271–4.
 23. American College of Sports Medicine. ACSM`s guidelines for exercise testing and prescription. 9 ed. Baltimore: Wolters Kluwer; 2014.
 24. Meneghelo RS, Araújo CGS, Stein R, Mastrocolla LE, Albuquerque PF, Serra SM. III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia Sobre Teste Ergométrico. *Rev Bras Fisioter*. 2011;95(5):1–26.
 25. Cabral-Santos C, Gerosa-Neto J, Inoue DS, Panissa VLG, Gobbo LA, Zagatto AM, et al. Similar anti-inflammatory acute responses from moderate-intensity continuous and high-intensity intermittent exercise. *J Sport Sci Med*. 2015;14(4):849–56.
 26. Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res*. 2008;41(10):854–9.

27. Sociedade Brasileira de Cardiologia. 7^a diretriz brasileira de hipertensão arterial. *Arq Bras Cardiol.* 2016;107(3 supl. 3):1–83.
28. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sport Exer.* 2007;39(2):377–90.
29. Von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithäuser R. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition.* 2004;20(7–8):651–6.
30. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev.* 2005;63(6):S40–54.
31. Task Force of the European Society of Cardiology of the North American Society of pacing electrophysiology. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation.* 1996;93:1043–65.
32. Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. The relevance of nonlinear dynamic analysis (Chaos Theory) to predict morbidity and mortality in patients undergoing surgical myocardial revascularization. *Arqu ciênc saúde.* 2005;12(4):167–71.
33. Peng CK, Havlin S, Stanley HE, Goldberger AL. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *CHAOS.* 1994;5(1):82–7.
34. Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems . *Eur Lett.* 1987;4(9):973–7.
35. Marwan N, Kurths J. Nonlinear analysis of bivariate data with cross recurrence plots. *Phys Lett A.* 2002;302:299–307.
36. Porta A, Guzzetti S, Montano N, Furlan R, Pagani M, Malliani A, et al. Entropy , Entropy Rate , and Pattern Classification as Tools to Typify Complexity in Short Heart Period Variability Series. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2001;48(11):1282–91.
37. Porta A, Tobaldini E, Guzzetti S, Furlan R, Montano N, Gneccchi-ruscone T. Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by

- symbolic analysis of heart rate variability. *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2007;293:702–8.
38. Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG. PhysioBank, PhysioToolkit and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*. 2000;101(23):E215–20.
 39. Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV - Heart rate variability analysis software. *Comput Meth Prog Bio*. 2014;113(1):210–20.
 40. Mcdermott BP, Anderson SA, Lawrence E, Casa DJ, Samuel N, Cooper L, et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for the physically active. *J Athl Train*. 2017;52(9):877–95.
 41. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: Interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2000;278(2 47-2):321–30.
 42. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL de M. Heart rate recovery: autonomic determinants , methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014;34(5):327–39.
 43. Hoshi RA, Vanderlei LCM, de Godoy MF, Bastos F do N, Netto J, Pastre CM. Temporal sequence of recovery-related events following maximal exercise assessed by heart rate variability and blood lactate concentration. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017;37(5):536–43.
 44. Wenner MM, Rose WC, Delaney EP, Stillabower ME, Farquhar WB. Influence of plasma osmolality on baroreflex control of sympathetic activity. *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2007;293(4):2313–9.
 45. Charkoudian N, Martin EA, Dinunno FA, Eisenach JH, Dietz NM, Joyner MJ.

- Influence of increased central venous pressure on baroreflex control of sympathetic activity in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2004;287:1658–62.
46. Powers, S. K.; Howley ET. *Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho*. 9th ed. Barueri: Manole; 2017.
47. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *New Engl J Med*. 1999;341(18):1351–7.

ANEXO 1

Aquecimento

I. Alongamento: realizado com o voluntário em pé de maneira auto assistida e estática, cada posição foi mantida por 15 segundos. Foram abordados os seguintes grupos musculares na seguinte ordem:

- a. Esternocleidomastoideo e trapézio superior: inclinação lateral de cervical;
- b. Esternocleidomastoideo: extensão cervical;
- c. Trapézio: flexão cervical;
- d. Flexores do punho: com o cotovelo em estendido realizar a extensão do punho;
- e. Extensores do punho: com o cotovelo em estendido realizar a flexão do punho;
- f. Tríceps: flexão de cotovelos com o ombro flexionado próximo a 180°;
- g. Grande dorsal: inclinação do tronco;
- h. Quadríceps: realizar a flexão do joelho levando o pé em direção ao glúteo;
- i. Isquiotibiais e Tríceps sural: com uma perna a frente da outra, descarregar o peso na perna da frente realizando a extensão de quadril e joelho da perna de trás, mantendo o calcanhar apoiado no chão;
- j. Adutores de quadril: com as pernas paralelas e afastadas, descarregar o peso em uma das pernas, realizando a abdução de quadril da perna contralateral.

II. Exercícios: realizados de maneira ativa livre com o voluntário em pé.

- *Membros inferiores:*

- a. Flexão plantar, 15 repetições cada lado;
- b. Trílice flexão, 15 repetições cada lado;
- c. Abdução de quadril, 15 repetições cada lado;
- d. Flexão de joelho, 15 repetições cada lado;
- e. Adução e abdução de quadril: com as pernas paralelas e afastadas alternar a descarga de peso nas pernas, 20 repetições;

- *Membros superiores:*

1. Desenvolvimento: com os ombros abduzidos a 90° e cotovelos flexionados realizar a extensão dos cotovelos e continuar a abdução do ombro, 15 repetições;
2. Abdução de ombro até 90°, 15 repetições;
3. Extensão de ombro, 15 repetições;
4. Soco cruzado alternado, 15 repetições;
5. Com os ombros abduzidos a 90° realizar a adução horizontal dos ombros cruzando uma mão sobre a outra e voltando a posição inicial, 15 repetições;

- *Exercícios combinados:*

1. Flexão plantar associada a flexão de cotovelo, 15 repetições;
2. Abdução horizontal de ombro associada a abdução do quadril ipsilateral, 15 repetições cada lado;
3. Agachamento associado a flexão de ombro, 15 repetições;
4. Afundo associado a abdução de ombro, 15 repetições;

A hidratação durante e após o exercício traz maiores benefícios para a dinâmica não linear da frequência cardíaca de coronariopatas com menor aptidão cardiorrespiratória: ensaio clínico crossover

RESUMO

Introdução: A redução da aptidão cardiorrespiratória (AC) e lenta recuperação autonômica pós-exercício estão associadas a piores desfechos clínicos e maiores riscos de eventos adversos. A hidratação é uma técnica capaz de otimizar a recuperação autonômica pós-exercício, porém sua eficácia foi estudada apenas em indivíduos jovens saudáveis e ativos. **Objetivo:** Investigar a influência da hidratação na dinâmica não linear da frequência cardíaca de coronariopatas com diferentes níveis de AC durante os períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular. **Metodologia:** o procedimento experimental foi composto por 3 etapas: I. Teste de esforço máximo, II. Protocolo controle (PC) e III. Protocolo hidratação (PH). Após a realização da etapa I os voluntários foram divididos em dois grupos: grupo de pior VO₂ (GP; n = 15) e grupo de melhor VO₂ (GM; n = 16). O PC e o PH foram compostos pelas seguintes atividades: repouso inicial, aquecimento, exercício aeróbico, desaquecimento e recuperação passiva. A quantidade de líquido perdida no PC foi repostada no PH por meio da ingestão de 8 porções iguais de água durante e após o exercício. A dinâmica não linear foi avaliada pelos métodos não lineares da variabilidade da frequência cardíaca: *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2) e *plot* de recorrência (REC, DET, ApEn e SampEn). **Resultados:** Durante o exercício a perda de líquidos exerceu maior influência nas respostas da dinâmica não linear no GP, a qual foi minimizada com a reposição de líquidos. Após o exercício o GP apresentou melhor recuperação no PH para os índices REC (PC: 40° vs PH: 5° min), DET (PC: mais de 60 min vs PH: 5° min), SampEn (PC: mais de 60 min vs PH: 5° min), SD1 (PC: 20° min vs PH: 5° min) e relação SD1/SD2 (PC: mais de 60 min vs PH: 5° min) e o GM para os índices SampEn (PC: 40° min vs PH: menos de 5 min) e SD1 (PC: 15° min vs PH: 5° min). Porém não foram encontradas diferenças entre os grupos e protocolos e interação momento vs protocolo (p>0,05). **Conclusão:** A hidratação minimizou as alterações da dinâmica não linear durante o exercício no GP e acelerou a recuperação dos indivíduos coronariopatas, com maiores efeitos na população com menor AC.

Palavras-chave: Aptidão Cardiorrespiratória; Recuperação pós-exercício; Reabilitação Cardíaca; Sistema Nervoso Autônomo; Dinâmica Não Linear

INTRODUÇÃO

A literatura aponta que indivíduos com doenças cardiovasculares (DCV) apresentam lenta recuperação pós-exercício¹, o que está relacionada à hiperatividade simpática que retarda a reentrada vagal e prejudica a rápida redução da frequência cardíaca (FC)². Essa condição, favorece o aparecimento de eventos adversos súbitos, como arritmias e isquemias³ e, nesse contexto, a investigação de técnicas capazes de otimizar a recuperação desses indivíduos se torna essencial.

Em indivíduos jovens saudáveis a reposição de líquidos realizada durante e após o exercício tanto com água quanto com bebida isotônica foi capaz de acelerar a recuperação após exercício aeróbio de intensidade moderada⁴. Esses achados sugerem que a hidratação pode também exercer um efeito benéfico sobre a recuperação pós-exercícios de indivíduos com DCV, minimizando os riscos decorrentes de uma lenta recuperação.

Em relação à recuperação, estudos apontam ainda que menores níveis de aptidão cardiorrespiratória (AC) estão relacionados a uma pior capacidade de recuperação autonômica e cardiovascular após o exercício⁵. Essas condições quando associadas, aumentam em mais de 10% a taxa de mortalidade de indivíduos saudáveis quando comparados àqueles com valores normais para ambas as variáveis⁶.

Esses achados podem ser relevantes quando consideramos indivíduos com DCV, os quais podem apresentar de maneira associada uma menor AC e pior recuperação da FC após o exercício¹, o que contribui para um maior risco de ocorrência de eventos isquêmico e arrítmicos durante a recuperação^{3,7}, principalmente para os indivíduos que apresentam uma reduzida capacidade funcional associada a DCV⁶. Apesar disso, não foram encontrados na literatura estudos que avaliaram a recuperação autonômica pós-exercício dessa população considerando os diferentes níveis de AC e a influência da perda

de líquidos durante e após o exercício, bem como a eficácia da estratégia de reposição de líquidos em ambas as populações.

Diante dessas informações e sabendo que o sistema nervoso autônomo se comporta de maneira não linear e complexa⁸ e, por isso, seu comportamento é melhor descrito por meio de métodos de investigação que abordem o domínio do caos^{9,10}, o objetivo desse estudo foi avaliar por meio do métodos não lineares da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), a influência da hidratação realizada durante e após o exercício na modulação autonômica nos períodos de exercício e recuperação de coronariopatas com diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória. Hipotetizamos que os indivíduos com menor capacidade funcional apresentarão uma recuperação mais lenta quando nenhum líquido for ingerido, e acreditamos que a hidratação será benéfica para ambos os grupos, independentemente do nível de aptidão cardiorrespiratória.

MATERIAIS E MÉTODOS

População

Para este ensaio clínico crossover não-randomizado foram recrutados homens que participavam de programas de reabilitação cardiovascular (PRC) por no mínimo três meses com diagnóstico médico de coronariopatia isquêmica e fração de ejeção acima 50%, classificados de acordo com os critérios da New York Heart Association (NYHA) nas classes funcionais I e II. Para o recrutamento da amostra, foram avaliados, de acordo com os critérios de elegibilidade, os prontuários de indivíduos participantes de PRC na cidade de Presidente Prudente – SP, Brasil.

Não foram incluídos indivíduos tabagistas e/ou etilistas ou que apresentassem uma das seguintes características que contraindicam a prática de exercício ou comprometem a avaliação da modulação autonômica¹¹: angina instável, doença valvular

significativa, doenças respiratórias, hipertensão arterial e diabetes *mellitus* não controladas, distúrbios renais e hepáticos importantes, miocardite, distúrbios eletrolíticos, respostas hemodinâmicas anormais durante teste de esforço máximo e problemas ortopédicos que impossibilitassem a realização do procedimento experimental. Foram excluídos aqueles participantes que apresentaram erro superior a 5% na série de intervalos RR e que não compareceram a todas as etapas do estudo.

O cálculo do tamanho amostral foi baseado nos dados obtidos em um projeto piloto para o índice SD1. Considerando um desvio padrão de 5,50 ms, diferença mínima entre os grupos de 4,90 ms, risco alfa de 5% e poder de 80%, o tamanho da amostra resultou em 16 indivíduos, porém tendo em vista as possíveis perdas amostrais foi adicionado 10% a esse valor, totalizando 18 indivíduos por grupo.

Todos os procedimentos utilizados foram aprovados pelo Comitê de ética em pesquisa da Instituição (CAAE: 54864716.8.0000.5402) e os voluntários foram instruídos quanto aos objetivos e procedimentos da pesquisa e, após concordarem em participar, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O protocolo desse estudo foi registrado previamente no clinicaltrials.gov (NCT03198806).

Procedimento Experimental

Para realização do procedimento experimental, todos os voluntários foram orientados a não realizarem atividades físicas vigorosas e se absterem de substâncias estimulantes durante as 24 horas prévias a cada etapa do procedimento¹¹, o qual foi dividido em três etapas com intervalo de 48 horas entre elas, a fim de permitir a recuperação dos voluntários:

Etapa 1. Teste de esforço máximo: teve como objetivo a avaliação das respostas hemodinâmicas dos voluntários, definição do valor de $\text{VO}_{2\text{pico}}$, utilizado para a divisão

da população em grupo pior VO₂ (GP) e grupo melhor VO₂ (GM) com base no valor da mediana da amostra, e definição do valor de FC obtido no momento do limiar anaeróbio (LA) ou VO₂pico, para aqueles voluntários que não atingiram o LA, que foi utilizado para a prescrição do exercício realizado nas etapas seguintes.

Etapa 2. Protocolo Controle (PC): foi elaborado de maneira análoga a uma sessão de reabilitação cardiovascular, constituído pelas seguintes atividades: repouso, aquecimento, resistência aeróbia, desaquecimento e recuperação passiva.

Etapa 3. Protocolo Hidratação (PH): composto pelas mesmas atividades do PC, porém durante as atividades de resistência aeróbia e desaquecimento o voluntário foi hidratado de maneira individualizada com 8 porções iguais de água (Bonafont, Brasil) em intervalos regulares de 10 minutos¹².

Os procedimentos realizados em cada uma dessas etapas estão descritos abaixo e ilustrados na figura 1.

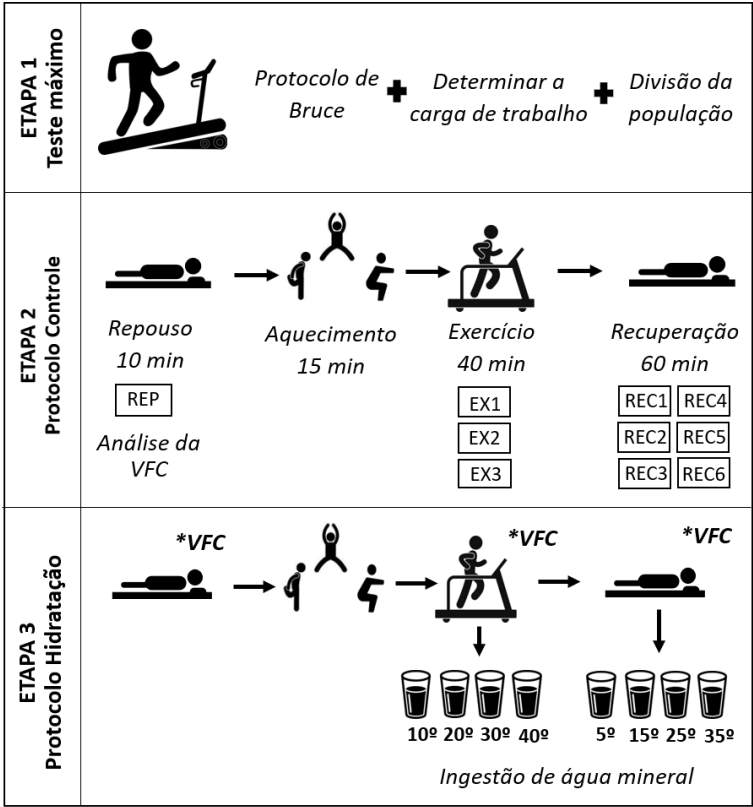


Figura 1. Resumo do procedimento experimental.

Etapas 1: Teste de esforço máximo

Foi utilizado o protocolo máximo de Bruce¹³ e foi adotado um período de 5 minutos para aquecimento e 5 minutos para recuperação. O teste foi acompanhado por um médico cardiologista e os indivíduos foram continuamente monitorados por meio de um eletrocardiograma (Active- Ecafex, Brasil). O teste foi interrompido mediante exaustão voluntária. Para determinação do LA e VO₂pico os gases expirados foram captados e analisados pelo sistema Quark PFT (Cosmed, Rome, Italy)¹⁴ calibrado com volumes e gases de concentração conhecidos. Para determinação da FC, foi utilizado o cardiofrequencímetro Polar RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finland)¹⁵.

Etapas 2 e 3: Protocolos controle e hidratação

Ambos os protocolos foram realizados entre 13:30 e 18:00 horas em ambiente climatizado com temperatura mantida entre 21 - 23°C e umidade entre 40 - 60% e os voluntários foram monitorados por meio de um eletrocardiograma (Active- Ecafex, Brasil) durante todo o protocolo.

O PC e o PH foram constituídos pelas seguintes etapas: I. Coleta inicial de uma amostra de urina; II. Mensuração da massa corporal (Balmak, Premium Bk-200Fa, Brasil); III. Repouso inicial: em posição supina durante 10 minutos, IV. Aquecimento: realizado por meio de alongamentos e exercícios ativos livres de membros superiores e inferiores com duração de 15 minutos (detalhado no Anexo 1); V. Resistência aeróbia: realizada em esteira ergométrica a uma intensidade de 60-80% da FC atingida no LA ou VO₂pico¹⁶ com duração de 40 minutos; VI. Desaquecimento: realizado com metade da carga utilizada na fase anterior durante 5 minutos; VII. Recuperação passiva: realizada em posição supina durante 60 minutos; VIII. Coleta de uma nova amostra de urina; IX. Mensuração da massa corporal final.

Após o período de repouso inicial, para a caracterização da amostra, foram avaliados FC por meio do cardiófrequencímetro Polar RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finland)¹⁵ e pressão arterial sistólica e diastólica, obtidas de maneira indireta por meio de um estetoscópio (Littmann, Saint Paul, USA) e um esfigmomanômetro aneroide (Welch Allyn - Tycos, New York, USA)¹⁷. A temperatura axilar (BD Thermofácil, China) foi avaliada ao final do período de repouso e durante o período de desaquecimento.

No PH, a hidratação dos voluntários foi realizada de maneira individualizada baseando-se na massa corporal perdida no PC, considerando que um grama perdido equivale a um mililitro de líquido perdido¹⁸. A quantidade total de água ingerida por cada voluntário foi distribuída em 8 porções iguais, oferecidas a cada 10 minutos entre o 10º minuto de exercício e o 35º minuto da recuperação¹².

A condição de hidratação dos voluntários foi avaliada por meio de amostras de urina que foram analisadas visualmente por meio das fitas Combur 10 M teste (Roche®, Brasil) e a densidade específica da urina foi utilizada como marcador do nível de hidratação¹⁹. Os indivíduos foram considerados desidratados quando apresentaram valores acima de 1,020¹². Para realização do PC e PH os voluntários deveriam se apresentar em um estado de euhidratação, para isso todos os indivíduos foram orientados a ingerir 500 ml de água 2 horas antes dos protocolos¹².

Análise dos períodos de exercício e recuperação

Os períodos de exercício e recuperação foram avaliados quanto a dinâmica não linear da FC por meio dos seguintes métodos:

I. Plot de Poincaré: baseia-se na representação da série RR em um plano cartesiano, em que cada ponto corresponde à relação de cada intervalo RR com o intervalo

anterior. A partir da elipse formada são extraídos os índices: SD1 (representa a dispersão dos pontos perpendiculares à linha de menor diâmetro da elipse, corresponde a modulação parassimpática), SD2 (representa a dispersão dos pontos perpendiculares ao maior diâmetro da elipse, corresponde a modulação global) e a relação SD1/SD2 (representa a razão entre os componentes de curta e longa variação)²⁰.

II. Plot de recorrência: avalia o comportamento não linear da série RR por meio da representação da trajetória da série RR em um plano tridimensional, e a partir desse plano, os intervalos RR que ocupam espaços próximos são agrupados em uma matriz²¹. A partir do gráfico formado são extraídos os seguintes índices: taxa de recorrência (REC – porcentagem de pontos recorrentes), determinismo (DET – pontos que recorrem em diagonal)²², que determinam a previsibilidade da série, e as entropia aproximada (ApEn) e da amostra (SampEn), que representam a complexidade da série²³.

Para a análise da VFC as séries de intervalos RR foram obtidas por meio da captura da FC batimento a batimento pelo cardiofrequencímetro Polar RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finland)¹⁵ nos seguintes momentos: 5° - 10° minuto de repouso, 15° - 20° (EX1), 25° - 30° (EX2), 35° - 40° (EX3) minuto do exercício, 0 - 5° (REC1), 5° - 10° (REC2), 15° - 20° (REC3), 25° - 30° (REC4), 40° - 45° (REC5) e 55° - 60° (REC6) minuto de recuperação, sendo obtidos no mínimo 256 intervalos RR consecutivos em cada momento.

Séries com menos de 95% de batimentos sinusais não foram incluídas nas análises. As séries foram filtradas de maneira digital (Polar Precision Performance SW - versão 5.0) seguida por uma filtragem manual para eliminação de batimentos ectópicos e artefatos¹¹. Os índices foram obtidos por meio do software Kubios HRV – versão 2.0²⁴.

Análise estatística

A normalidade dos dados foi determinada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis de caracterização da amostra a comparação entre os grupos foi realizada pelo teste t de Student para dados não pareados ou teste de Mann-Whitney, para essas análises foi calculado o tamanho de efeito de Cohen. Já para as variáveis categóricas foi utilizado o teste de Qui-quadrado considerando a correção de continuidade de Yates.

Para as variáveis massa corporal, temperatura axilar e densidade específica da urina a comparação de um mesmo momento (inicial e final) entre os protocolos e grupos foi realizada por meio da ANOVA de uma via ou teste de Kruskal-Wallis seguidos por pós-teste de Bonferroni ou Dunn. Já para a comparação entre os momentos de um mesmo protocolo (inicial vs final) foi utilizado teste t de Student para dados pareados ou teste de Wilcoxon.

Para a análise dos índices da VFC foi utilizada ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni ou Dunn. A esfericidade foi checada quanto à violação pelo teste de Mauchly, e quando violada a correção de Greenhouse-Geisser foi considerada. Para essas análises foi calculado o tamanho de efeito *eta-squared* parcial. A significância estatística foi fixada em 5%. As análises foram realizadas no software IBM SPSS Statistics – versão 22.0 (IBM Corp, Armonk, New York).

RESULTADOS

Foram recrutados para elegibilidade 36 indivíduos, que após a etapa 1 foram divididos em dois grupos, GP e GM, com base no valor da mediana da amostra (26,06 ml/Kg/min). Compuseram as análises 15 indivíduos do GP e 16 do GM. As perdas amostrais estão descritas na figura 2.

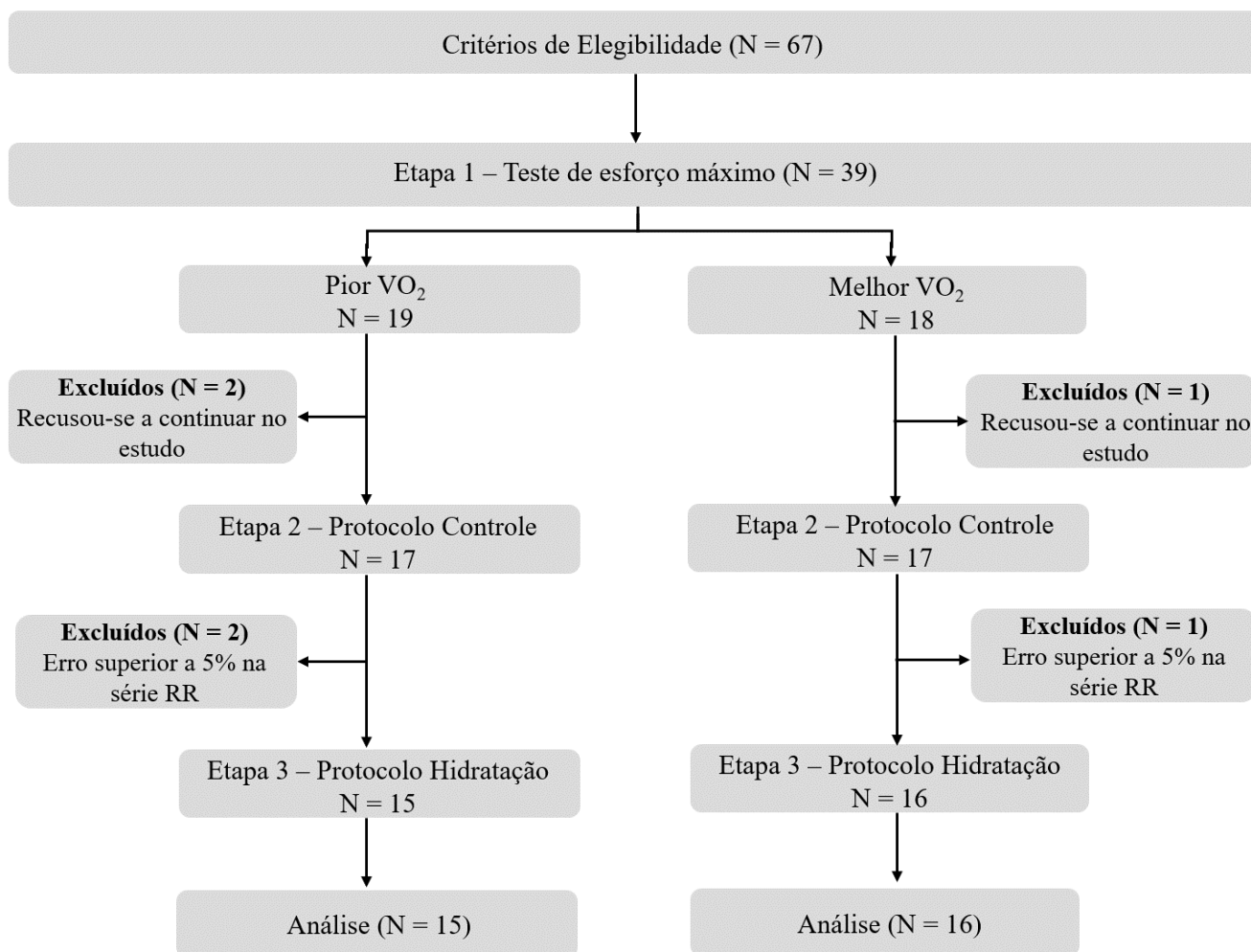


Figura 2. Fluxograma de perdas.

A caracterização da amostra de acordo com os grupos está exposta na Tabela 1. Em relação ao uso de medicamentos, não foram encontradas diferenças entre os grupos ($p > 0,05$). As classes mais prevalentes nos grupos GP e GM, respectivamente, foram: anticoagulantes (73,3% vs. 81,3%; $p = 0,923$), estatinas (73,3% vs. 87,5%; $p = 0,587$), betabloqueadores (73,3% vs. 62,5%; $p = 0,795$), antagonista dos receptores de angiotensina II (33,3% vs. 31,3%; $p = 1,000$) e bloqueadores do canal de cálcio (33,3% vs. 25,0%; $p = 0,908$).

Tabela 1. Caracterização da amostra segundo os valores de VO₂.

Variável	Pior VO ₂ (N = 15)	Melhor VO ₂ (N = 16)	pvalor (Cohen's d)
VO ₂ pico (ml/Kg/min)	21,64±3,40 [14,28-25,62]	32,57±3,59 [26,50-38,78]	0,000^a (3,12)
Equivalente Metabólico (MET)	6,18±0,97 [4,08-7,32]	9,31±1,03 [7,57-11,08]	0,000^a (3,13)
Idade (anos)	65,13±10,29 [45,00-83,00]	62,06±5,73 [47,00-72,00]	0,320 ^b (0,37)
Peso (Kg)	86,83±11,83 [71,20-108,50]	75,23±10,81 [58,00-104,00]	0,008^b (1,03)
Estatura (m)	1,70±0,05 [1,64-1,78]	1,70±0,06 [1,58-1,81]	0,572 ^a (0,18)
IMC (Kg/m ²)	29,56±4,29 [23,25-39,37]	25,83±3,04 [20,62-34,75]	0,004^a (1,01)
Tempo de tratamento (anos)	4,30±5,49 [0,27-17,51]	2,69±2,30 [0,31-8,05]	0,892 ^a (0,39)
FC repouso (bpm)	63,60±7,96 [50,00-77,00]	63,37±8,64 [49,00-78,00]	0,941 ^b (0,03)
PAS (mmHg)	113,33±9,00 [100,00-140,00]	120,00±8,16 [110,00-130,00]	0,030^a (0,78)
PAD (mmHg)	73,33±8,16 [60,00-90,00]	78,12±6,55 [70,00-90,00]	0,072 ^a (0,65)
Velocidade da Esteira (Km/h)	4,35±0,70 [3,20-5,50]	5,26±0,52 [4,00-6,00]	0,000^b (1,50)
Água ingerida no PH (ml)	586,67±168,47 [200,00-900,00]	593,75±204,84 [300,00-1000,00]	0,917 ^b (0,04)
Fatores de Risco	N (%)		Pvalor Qui-quadrado
Diabetes	7 (46,7%)	7 (43,8%)	1,000
Dislipidemia	11 (73,3%)	11 (68,8%)	1,000
Hipertensão arterial	14 (93,3%)	13 (81,3%)	0,641
Obesidade	4 (26,7%)	1 (6,3%)	0,291
Histórico familiar	9 (60%)	11 (68,8%)	0,894
Ex-tabagista	5 (33,3%)	9 (56,3%)	0,357

Média±Desvio Padrão [Mínimo-Máximo]. Legenda: ^a = Teste de Mann Whitney; ^b = teste T de Student não pareado; Kg = quilograma; m = metro; bpm = batimentos por minuto; mmHg = milímetros de mercúrio; min = minuto; Km/h = quilômetro por hora; ml = mililitro; % = porcentagem.

As comparações das variáveis massa corporal, temperatura axilar e densidade específica da urina estão expostas na tabela 2. Para massa corporal foi observada redução significativa entre as coletas inicial e final no PC para ambos os grupos (GP: $p < 0,001$; GM: $p < 0,001$) e ainda, os valores iniciais de massa corporal tanto no PC quanto no PH foram menores no GM ($p = 0,003$) e o mesmo foi observado para os valores finais ($p = 0,004$).

Não foram observadas diferenças para os valores de temperatura axilar ($p > 0,05$). Para a densidade específica da urina foi observada redução significativa no PH para ambos os grupos (GP: $p = 0,008$; GM: $p = 0,005$), porém não foram observadas diferenças entre os grupos e protocolos em um mesmo momento ($p > 0,05$).

Tabela 2. Valores de massa corporal, temperatura axilar e densidade específica da urina em ambos os protocolos para ambos os grupos.

Variável	Grupo	Momento	Inicial	Final
Massa Corporal (Kg)	Pior VO ₂	PC	87,23±11,28	86,65±11,25 ^c
		PH	87,00±11,62	86,85±11,47
	Melhor VO ₂	PC	76,04±11,16 ^a	75,44±11,15 ^{a,c}
		PH	75,98±10,79 ^{a,b}	75,90±10,99 ^b
Temperatura Axilar (°C)	Pior VO ₂	PC	35,04±1,00	35,29±0,52
		PH	35,61±1,14	34,95±0,85
	Melhor VO ₂	PC	35,01±1,24	34,66±0,94
		PH	34,99±1,18	34,93±1,03
Densidade Específica da Urina	Pior VO ₂	PC	1,016±0,005	1,015±0,006
		PH	1,017±0,004	1,013±0,004 ^c
	Melhor VO ₂	PC	1,014±0,006	0,951±0,264
		PH	1,016±0,005	1,011±0,004 ^c

Média±Desvio Padrão. Legenda: ^a = Diferença significativa em relação ao valor encontrado no PC do grupo Pior VO₂ ($p < 0,05$); ^b = Diferença significativa em relação ao valor encontrado no PH do grupo Pior VO₂ ($p < 0,05$); ^c = Diferença significativa entre a coleta inicial e final do mesmo protocolo ($p < 0,05$) [ANOVA de uma via seguida de pós-teste de Bonferroni para todas as variáveis exceto densidade da urina inicial, que foi analisada pelo teste de Kruskal-Wallis]; PC = protocolo controle; PH = protocolo hidratação; Kg = quilograma; °C = grau Celsius.

A análise dos índices derivados do *plot* de Poincaré e do gráfico de recorrência durante o exercício está exposta na tabela 3. Para todos os índices avaliados não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos e não foi verificada interação entre momentos e protocolos ($p>0,05$), porém para todos os índices, exceto SampEn, houve diferença significativa entre os momentos ($p<0,05$).

Foi verificado aumento dos índices REC, DET e ApEn e redução dos índices SD1 e SD2. Os índices SampEn e a relação SD1/SD2 não se alteraram de maneira significativa. Vale destacar que para o GP o índice REC sofreu aumento significativo nos três momentos avaliados no PC, enquanto no PH não foram verificados aumentos significantes durante todo o período de exercício.

Tabela 3. Comparação entre os momentos de exercício e repouso para ambos os grupos em ambos os protocolos.

Índice	Grupo	Protocolo	Momentos				P _{valor} (η^2_p)
			Repouso	EX1	EX2	EX3	
REC	Pior VO ₂	PC	34,25±9,87	42,03±7,65	45,20±9,48	43,35±7,06	Mmt: 0 (0,214) Int: 0,402 (0,051)
		PH	38,27±10,37	44,65±9,60	44,61±8,70	43,84±6,02	
	Melhor VO ₂	PC	34,73±7,87	39,44±8,67	39,81±6,12	43,23±6,61	
		PH	33,89±7,99	45,83±16,78	42,69±9,31	40,72±7,62	
DET	Pior VO ₂	PC	97,91±1,74	98,92±1,34	99,15±1,13	99,14±1,08	Mmt: 0 (0,182) Int: 0,846 (0,020)
		PH	98,38±1,45	99,15±1,12	99,04±1,24	99,28±0,50	
	Melhor VO ₂	PC	98,15±1,69	98,57±1,32	98,72±1,13	99,18±0,61	
		PH	98,12±1,41	98,95±1,19	98,98±1,00	99,04±0,99	
ApEn	Pior VO ₂	PC	1,08±0,06	1,12±0,16	1,14±0,09	1,20±0,13	Mmt: 0 (0,114) Int: 0,371 (0,053)
		PH	1,04±0,13	1,20±0,21	1,12±0,11	1,12±0,07	
	Melhor VO ₂	PC	1,07±0,12	1,21±0,08	1,18±0,10	1,12±0,14	
		PH	1,07±0,09	1,15±0,13	1,14±0,13	1,17±0,12	
SampEn	Pior VO ₂	PC	1,53±0,36	1,29±0,36	1,41±0,32	1,32±0,37	Mmt: 0,089 (0,040) Int: 0,882 (0,021)
		PH	1,38±0,40	1,35±0,40	1,37±0,33	1,29±0,22	
	Melhor VO ₂	PC	1,48±0,36	1,48±0,32	1,41±0,30	1,31±0,36	
		PH	1,46±0,37	1,41±0,35	1,41±0,34	1,35±0,27	
SD1	Pior VO ₂	PC	13,13±7,47	4,20±1,80	3,83±1,51	3,90±1,46	Mmt: 0 (0,601) Int: 0,940 (0,007)
		PH	12,91±8,37	4,27±1,62	4,09±1,66	3,99±1,80	
	Melhor VO ₂	PC	13,42±6,24	5,51±2,16	4,97±1,43	5,36±1,98	
		PH	12,98±6,94	5,33±2,64	5,28±2,37	5,23±2,18	
SD2	Pior VO ₂	PC	35,19±14,41	15,56±6,24	13,97±5,80	14,85±5,93	Mmt: 0 (0,669) Int: 0,528 (0,040)
		PH	39,89±13,83	16,83±7,36	14,56±5,11	14,90±5,20	
	Melhor VO ₂	PC	42,00±20,00	15,98±4,90	16,36±5,17	19,95±5,91	
		PH	37,14±12,65	18,72±5,97	18,10±4,28	18,27±4,26	
SD1/SD2	Pior VO ₂	PC	0,39±0,20	0,28±0,13	0,29±0,13	0,28±0,11	Mmt: 0 (0,282) Int: 0,118 (0,073)
		PH	0,32±0,14	0,28±0,15	0,29±0,12	0,27±0,08	
	Melhor VO ₂	PC	0,34±0,15	0,36±0,17	0,32±0,11	0,29±0,14	
		PH	0,36±0,16	0,30±0,14	0,30±0,12	0,30±0,17	

Média±Desvio padrão. Valores em negrito: diferença significativa entre os momentos do exercício e o repouso ($P<0,05$). [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni ou Dunn]. Legenda: EX1: 15 – 20° min; EX2: 25 – 30° min; EX3: 35 – 40° min. η^2_p : *eta-squared* parcial; Mmt: momentos; Int: interação; REC: taxa de recorrência; DET: determinismo; ApEn: entropia aproximada; SampEn: entropia da amostra.

Durante a fase de recuperação, não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos e não foi verificada interação entre protocolos e momentos para todos os índices avaliados ($p>0,05$; Tabela 4), porém todos os índices apresentaram diferenças entre os momentos ($p<0,05$; Tabela 4).

No GP é possível observar que para os índices REC, DET, SampEn, SD1 e relação SD1/SD2 houve uma recuperação mais rápida durante o PH. Uma vez que no PC os índices DET, SampEn e a relação SD1/SD2 não se recuperaram dentro do período de 60 minutos e no PH se recuperaram após o 5º minuto pós-exercício, e o índice SD1, que no PC se recuperou após o 20º minuto, se recuperou após o 5º minuto no PH.

Já para o GM, o efeito benéfico da hidratação foi observado apenas para os índices SampEn e SD1, que no PC se recuperaram após o 45º e 20º minuto, respectivamente, e no PH, durante os primeiros 5 minutos e após o 5º minuto, respectivamente. Já para os demais índices, a recuperação ocorreu nos mesmos momentos em ambos os protocolos, com exceção do índice REC, que apresentou melhor recuperação no PC.

Tabela 4. Comparação dos índices não lineares da VFC entre os momentos de recuperação e repouso em ambos os protocolos para ambos os grupos.

Índice	Grupo	Protocolo	Momentos							Pvalor (η^2_p)
			Repouso	Rec 1	Rec 2	Rec 3	Rec 4	Rec 5	Rec 6	
REC	Pior VO ₂	PC	34,25±9,87	50,11±10,66	39,01±8,47	36,84±12,13	39,69±11,02	42,32±7,73	41,15±9,92	Mmt: 0 (0,280) Int: 0,052 (0,077)
		PH	38,27±10,37	51,86±9,63	41,21±11,44	40,16±10,17	42,54±11,26	37,15±7,13	34,73±7,31	
	Melhor VO ₂	PC	34,73±7,87	46,80±6,84	40,12±5,40	38,86±5,76	36,50±6,76	39,45±7,53	39,09±8,10	
		PH	33,89±7,99	48,51±11,46	43,80±9,28	41,50±7,89	38,22±9,15	37,60±4,85	36,87±7,69	
DET	Pior VO ₂	PC	97,91±1,74	99,52±0,53	98,35±0,94	98,38±1,67	98,67±1,39	99,20±0,61	99,04±1,08	Mmt: 0 (0,217) Int: 0,309 (0,057)
		PH	98,38±1,45	99,58±0,49	98,85±1,16	98,85±0,96	98,85±1,40	98,70±0,91	98,36±1,09	
	Melhor VO ₂	PC	98,15±1,69	99,51±0,45	99,00±0,45	99,06±0,72	98,80±0,82	99,08±0,71	99,00±0,84	
		PH	98,12±1,41	99,44±0,56	99,33±0,55	99,12±0,69	98,88±0,66	98,97±0,51	98,89±0,76	
ApEn	Pior VO ₂	PC	1,08±0,06	0,89±0,23	1,06±0,12	1,06±0,11	1,04±0,14	1,02±0,14	0,97±0,18	Mmt: 0 (0,170) Int: 0,270 (0,060)
		PH	1,04±0,13	0,89±0,27	1,02±0,16	1,06±0,10	1,03±0,13	1,04±0,15	1,08±0,09	
	Melhor VO ₂	PC	1,07±0,12	0,95±0,11	1,03±0,08	1,06±0,07	1,06±0,90	1,01±0,11	1,04±0,09	
		PH	1,07±0,90	0,97±0,18	1,00±0,13	1,03±0,13	1,07±0,09	1,05±0,12	1,05±0,15	
SampEn	Pior VO ₂	PC	1,52±0,36	0,98±0,35	1,29±0,33	1,36±0,33	1,30±0,34	1,17±0,32	1,16±0,45	Mmt: 0 (0,189) Int: 0,410 (0,051)
		PH	1,38±0,40	1,00±0,42	1,24±0,43	1,39±0,35	1,29±0,37	1,32±0,36	1,49±0,32	
	Melhor VO ₂	PC	1,48±0,36	1,06±0,27	1,22±0,27	1,33±0,31	1,37±0,32	1,18±0,31	1,25±0,28	
		PH	1,46±0,37	1,10±0,29	1,15±0,26	1,40±0,70	1,32±0,45	1,29±0,31	1,30±0,32	
SD1	Pior VO ₂	PC	13,13±7,47	8,13±3,75	8,51±3,96	9,29±5,00	9,79±4,31	10,47±4,72	12,17±7,61	Mmt: 0 (0,276) Int: 0,416 (0,051)
		PH	12,91±8,37	8,45±4,10	10,28±5,95	11,70±6,08	13,01±6,79	13,56±6,32	13,43±8,94	
	Melhor VO ₂	PC	13,42±6,24	9,44±3,32	9,56±3,41	9,94±3,74	11,54±4,11	12,56±5,35	12,81±5,37	
		PH	12,98±6,94	9,80±4,88	10,53±4,48	11,87±4,16	12,60±3,84	12,91±4,43	12,59±5,27	
SD2	Pior VO ₂	PC	35,19±14,41	46,73±17,79	32,69±11,61	30,93±14,32	35,58±17,25	42,62±16,72	48,75±27,60	Mmt: 0 (0,117) Int: 0,103 (0,074)
		PH	39,89±13,83	52,31±26,48	39,58±15,31	42,47±17,79	50,46±20,76	47,35±17,98	41,03±24,23	
	Melhor VO ₂	PC	42,00±20,00	49,36±17,92	41,19±14,72	39,74±13,98	42,59±12,79	52,78±23,25	49,21±17,86	
		PH	37,14±12,65	47,95±19,36	44,96±15,02	46,98±17,87	47,31±17,29	47,66±16,33	48,56±21,85	
SD1/SD2	Pior VO ₂	PC	0,39±0,20	0,19±0,10	0,27±0,10	0,32±0,14	0,30±0,12	0,25±0,10	0,27±0,14	Mmt: 0 (0,282) Int: 0,118 (0,073)
		PH	0,32±0,14	0,19±0,09	0,27±0,12	0,28±0,11	0,27±0,12	0,30±0,11	0,34±0,11	
	Melhor VO ₂	PC	0,34±0,15	0,20±0,08	0,24±0,07	0,26±0,09	0,28±0,08	0,25±0,09	0,26±0,08	
		PH	0,36±0,16	0,22±0,09	0,24±0,08	0,27±0,08	0,28±0,08	0,28±0,07	0,27±0,09	

Média±Desvio padrão. Valores em negrito: diferença significativa entre os momentos de recuperação e repouso ($p < 0,05$). [ANOVA de duas vias para medidas repetidas seguida por pós-teste de Bonferroni ou Dunn]. Legenda: Rec 1: 0 – 5° min; Rec 2: 5 - 10° min; Rec 3: 15° - 20°; Rec 4: 25 - 30°; Rec 5: 40° - 45°; Rec 6: 55° - 60°. η^2_p : *eta-squared* parcial. Mmt: momentos; Int: interação; REC: taxa de recorrência; DET: determinismo; ApEn: entropia aproximada; SampEn: entropia da amostra.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciaram que durante o exercício a hidratação pode ter um efeito benéfico para os indivíduos com menor aptidão cardiorrespiratória. Já durante o período pós-exercício verificou-se uma recuperação mais rápida durante o PH para ambos os grupos, porém com maiores benefícios para o grupo de menor aptidão.

Nos grupos analisados valores significativamente maiores de peso e índice de massa corporal (IMC) foram observados para o GP, enquanto para o GM maiores valores foram encontrados para as variáveis $VO_{2\text{pico}}$ e velocidade utilizada na esteira durante os protocolos. Esses resultados corroboram com achados da literatura, uma vez que maiores valores de IMC em populações com comprometimento cardiovascular estão relacionados a piores níveis de VO_2 ²⁵.

A análise da variação da massa corporal durante os protocolos, evidenciou que uma sessão de reabilitação cardiovascular, realizada no modelo proposto neste estudo, foi capaz de promover perda de líquidos, e ainda, que a estratégia de hidratação individualizada adotada foi capaz de evitar essa perda e melhorar o estado de hidratação dos indivíduos coronariopatas, independentemente do nível de AC. É importante destacar que a perda de líquidos obtida corresponde aos períodos de exercício e recuperação juntos, portanto devemos considerar que durante o exercício a quantidade de líquido perdida foi menor, que 0,7% da massa corporal para o GP e 0,8% para o GM.

Durante o exercício, as respostas encontradas foram similares em ambos os protocolos e grupos, ocorrendo redução significativa dos valores dos índices SD1 e SD2, o que sugere, respectivamente, tanto redução da modulação parassimpática quanto da variabilidade global, caracterizando um comportamento fisiológico, uma vez que durante o exercício ocorre o aumento da atividade simpática e redução parassimpática, promovendo a diminuição da variabilidade global da FC²⁶.

Do ponto de vista da dinâmica não linear, essas alterações promovem a redução da complexidade e aumento da previsibilidade das séries RR²⁷, o que pode ser observado durante o exercício pelos maiores valores dos índices REC, DET e ApEn e menores valores da SampEn, contudo é importante destacar que somente para o índice REC, que representa a previsibilidade da série RR²², foi verificado aumento significativo em todos os momentos do PC somente para o GP, e quando a reposição de líquidos foi realizada não houve alteração significativa desse índice, o que significa que a perda hídrica promoveu maiores perturbações autonômicas nos indivíduos com menor capacidade funcional nesse período.

Esse achado pode estar, pelo menos em parte, relacionado a menor modulação parassimpática que ocorre em indivíduos com reduzida capacidade aeróbia²⁸, o que favorece o comportamento cíclico e previsível do sistema, evidenciado pela elevada REC, e compromete a habilidade de adaptação do SNA⁹, portanto esses indivíduos parecem ser mais afetados pelos efeitos da perda de líquidos. A hidratação parece ter amenizado as alterações autonômicas durante o exercício, porém novos estudos são necessários para confirmar esse achado.

Esses resultados sugerem que o exercício realizado com intensidade equivalente a 60-80% da FC atingida no LA associado a perda de líquidos obtida foi suficiente para perturbar a dinâmica não linear da FC de coronariopatas independentemente do seu nível de aptidão cardiorrespiratória, mas com maior intensidade para os indivíduos com pior condicionamento.

Em relação ao período de recuperação, os resultados obtidos ilustraram a retomada parassimpática (SD1)²⁶, que refletiu no aumento da complexidade (ApEn e SampEn) e diminuição da previsibilidade (REC e DET) das séries RR^{29,30} em ambos os grupos e protocolos.

No que diz respeito a influência da capacidade aeróbia na velocidade de recuperação, uma correlação positiva entre variáveis que representam o condicionamento aeróbio como VO₂pico, equivalentes metabólicos (METs)³¹ e tempo do teste máximo (ET)⁵, e a velocidade de recuperação da frequência cardíaca, que representa indiretamente a ação parassimpática³², é encontrada em populações de indivíduos saudáveis⁵ e com doenças cardiovasculares³¹. No presente estudo, quando o PC é analisado quanto ao momento em que os grupos se recuperam após o exercício, uma diferença discreta foi observada para as variáveis DET, ApEn e SampEn [DET: sem recuperação completa (GP) vs após 10 min (GM); ApEn: após 5 min vs antes de 5 min; SampEn: sem recuperação completa vs após 45 min], demonstrando uma recuperação da dinâmica não linear da FC mais rápida nos indivíduos com melhor AC, o que pode estar relacionado a maior atividade parassimpática característica dessa população²⁸.

Quando os efeitos da hidratação no período de recuperação são analisados tem-se que a perda de líquidos bem como a sua reposição teve maiores efeitos sobre a população de pior AC, uma vez que no PH para o GP houve aceleração da recuperação para os índices REC, DET, SampEn, SD1 e relação SD1/SD2, enquanto que para o GM apenas os índices SampEn e SD1 apresentaram melhor recuperação nesse protocolo.

Esse resultado pode estar relacionado a ação combinada dos efeitos deletérios da perda de líquidos no sistema nervoso autônomo³³ e cardiovascular³⁴ com o maior comprometimento da modulação autonômica observado em populações com menor aptidão cardiorrespiratória²⁸. A redução da VFC compromete a habilidade do organismo em se adaptar aos estímulos ambientais³⁵, podendo influenciar a capacidade do organismo responder à mudança da condição de exercício para repouso, prejudicando o processo de recuperação. Dessa forma, quando a perda de líquidos é evitada, menores são as alterações relacionadas a alteração da osmolalidade, volemia e sensibilidade barorreflexa,

portanto menores são as perturbações do sistema e, desse modo, menores são os desafios impostos ao organismo, favorecendo a rápida recuperação desses indivíduos.

A aceleração da recuperação autonômica de indivíduos coronariopatas com a utilização da hidratação, independentemente de sua aptidão cardiorrespiratória, é um importante achado clínico, visto que a lenta recuperação pós-exercício está relacionada a maior ocorrência de eventos súbitos, como arritmias e isquemias, no período de recuperação^{2,3}. E ainda, diante dos maiores benefícios obtidos para os indivíduos com menor capacidade funcional, é importante destacar que a hidratação deve ser considerada e aplicada principalmente durante as atividades da fase II da reabilitação cardiovascular, visto que os pacientes nessa fase tem como característica a reduzida aptidão cardiorrespiratória³⁶.

Como limitação do estudo, tem-se que o GP apresentou significativamente maiores valores de peso e IMC, o que pode exercer influência sobre a modulação autonômica, contudo essa é uma condição esperada para indivíduos com piores níveis de aptidão cardiorrespiratória²⁵. Outro aspecto que merece destaque foi a impossibilidade de randomização dos protocolos controle e hidratação, pois para definição da quantidade de água a ser ingerida necessariamente o PC deveria ser feito primeiro. Contudo, é importante destacar que a fim de evitar a influência dos efeitos agudos do exercício os voluntários incluídos já eram frequentadores por pelo menos 3 meses de PRC.

O estudo apresenta novas informações à literatura sobre a dinâmica não linear da FC em coronariopatas de diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória, visto que até o momento não é de nosso conhecimento estudos que abordaram essa temática. E ainda, os resultados obtidos fortalecem a importância clínica da implementação de estratégias individualizadas de hidratação nos PRC, a fim de minimizar os riscos relativos aos períodos de exercício³⁷ e recuperação³, principalmente para os indivíduos com pior AC,

que parecem ser mais afetados pela perda de líquidos, podendo estar em uma zona de maior risco de eventos arrítmicos e isquêmicos, o que torna importante a aplicação de estratégias de hidratação na população que está iniciando a reabilitação cardíaca (fase II). É importante destacar ainda que novos estudos são necessários para a investigação dos efeitos da hidratação em outras variáveis cardiovasculares, bem como a avaliação da eficácia de outros tipos de bebidas e métodos de hidratação.

CONCLUSÃO

A partir do exposto conclui-se que a hidratação individualizada realizada durante e após uma sessão de reabilitação cardiovascular se mostrou benéfica ao acelerar a recuperação dos indivíduos coronariopatas, e que seus efeitos foram mais importantes na população que apresenta menor AC. Durante o exercício a perda de líquidos parece exercer maior influência nas respostas não lineares dos indivíduos com menor AC e a reposição de líquidos pode ser capaz de minimizar essa influência.

REFERÊNCIAS

1. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1994;24(6):1529–35.
2. Ushijima A, Fukuma N, Kato Y, Aisu N, Mizuno K. Sympathetic excitation during exercise as a cause of attenuated heart rate recovery in patients with myocardial infarction. *J Nippon Med Sch*. 2009;76(2):76–83.
3. Qiu S, Cai X, Sun Z, Li L, Zuegel M, Steinacker JM, et al. Heart Rate Recovery and Risk of Cardiovascular Events and All-Cause. *J Am Hear Assoc*. 2017;6:1–12.

4. Vanderlei FM, Moreno IL, Vanderlei LCM, Pastre CM, De Abreu LC, Ferreira C. Comparison of the effects of hydration with water or isotonic solution on the recovery of cardiac autonomic modulation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(2):145–53.
5. Trevizani GA, Benchimol-barbosa PR, Nadal J. Effects of age and aerobic fitness on heart rate recovery in adult men. *Arq Bras Cardiol.* 2012;99(3):802–10.
6. Dhoble A, Lahr BD, Allison TG, Kopecky SL. Cardiopulmonary fitness and heart rate recovery as predictors of mortality in a referral population. *J Am Heart Assoc.* 2014;3(2):1–9.
7. Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ, Blair SN, Corrado D, Iii NAME, et al. Exercise and acute cardiovascular events: placing the risks into perspective a scientific statement from the american heart association council on nutrition , physical activity , and metabolism and the council on linical cardiology. *Circulation.* 2007;115(17):2358–69.
8. Porta A, Rienzo M Di, Wesssel N, Kurths J. Addressing the complexity of cardiovascular regulation. *Phil Trans R Soc A.* 2009;367:1215–8.
9. Higginsa JP. Nonlinear Systems in Medicine. *Yale J Biol Med.* 2002;75:247–60.
10. Godoy MF. Nonlinear Analysis of Heart Rate Variability : A Comprehensive Review. *J Cardiol Ther.* 2016;3(3):528–33.
11. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF de, Silva E da, Takahashi AC de M, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian J Phys Ther.* 2019;20
12. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sport Exer.* 2007;39(2):377–90.
13. Meneghelo RS, Araújo CGS, Stein R, Mastrocolla LE, Albuquerque PF, Serra SM.

- III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia Sobre Teste Ergométrico. Rev Bras Fisioter. 2011;95(5):1–26.
14. Cabral-Santos C, Gerosa-Neto J, Inoue DS, Panissa VLG, Gobbo LA, Zagatto AM, et al. Similar anti-inflammatory acute responses from moderate-intensity continuous and high-intensity intermittent exercise. J Sport Sci Med. 2015;14(4):849–56.
 15. Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. Braz J Med Biol Res. 2008;41(10):854–9.
 16. American College of Sports Medicine. ACSM`s guidelines for exercise testing and prescription. 9 ed. Baltimore: Wolters Kluwer; 2014.
 17. Sociedade Brasileira de Cardiologia. 7ª diretriz brasileira de hipertensão arterial. Arq Bras Cardiol. 2016;107(3 supl. 3):1–83.
 18. Von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithäuser R. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. Nutrition. 2004;20(7–8):651–6.
 19. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. Nutr Rev. 2005;63(6):S40–54.
 20. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2009;24(2):205–17.
 21. Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems . Eur Lett. 1987;4(9):973–7.
 22. Marwan N, Kurths J. Nonlinear analysis of bivariate data with cross recurrence plots. Phys Lett A. 2002;302:299–307.
 23. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. Am J Physiol Hear Circ Physiol. 2000;278:2039–49.
 24. Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Kubios

- HRV - Heart rate variability analysis software. *Comput Meth Prog Bio.* 2014;113(1):210–20.
25. Larsen CM, Ball CA, Hebl VB, Ong KC, Siontis KC, Olson TP, et al. Effect of Body Mass Index on Exercise Capacity in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2018;121(1):100–6.
 26. Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic Adjustments to Exercise in Humans. *Compr Physiol.* 2015;5:475–512.
 27. Gronwald T, Hoos O, Ludyga S, Hottenrott K. Non-linear dynamics of heart rate variability during incremental cycling exercise. *Res Sport Med.* 2018;1–11.
 28. Buchheit M, Gindre C. Cardiac parasympathetic regulation: Respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol - Hear Circ Physiol.* 2006;291(1).
 29. Gronwald T, Hoos O, Hottenrott K. Effects of a Short-Term Cycling Interval Session and Active Recovery on Non-Linear Dynamics of Cardiac Autonomic Activity in Endurance Trained Cyclists. *J Clin Med.* 2019;8(194).
 30. Hoshi RA, Vanderlei LCM, de Godoy MF, Bastos F do N, Netto J, Pastre CM. Temporal sequence of recovery-related events following maximal exercise assessed by heart rate variability and blood lactate concentration. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2017;37(5):536–43.
 31. Kim JH, Choe YR, Song MK, Choi IS, Han JY. Relationship between post-exercise heart rate recovery and changing ratio of cardiopulmonary exercise capacity. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(6):1039–46.
 32. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL de M. Heart rate recovery: autonomic determinants , methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014;34(5):327–39.

33. Castro-Sepúlveda M, Cerda-Kohler H, Pérez-Luco C, Monsalves M, Andrade DC, Zbinden-Foncea H, et al. Hydration status after exercise affect resting metabolic rate and heart rate variability. *Nutr Hosp*. 2015;31(3):1273–7.
34. Mcdermott BP, Anderson SA, Lawrence E, Casa DJ, Samuel N, Cooper L, et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for the physically active. *J Athl Train*. 2017;52(9):877–95.
35. Pumpila J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *Int J Cardiol*. 2002;84(1):1–14.
36. Ades PA, Savage PD, Brawner CA, Lyon CE, Ehrman JK, Bunn JY, et al. Aerobic capacity in patients entering cardiac rehabilitation. *Circulation*. 2006;113(23):2706–12.
37. Gourine A V., Ackland GL. Cardiac vagus and exercise. *Physiology*. 2019;34(1):71–80.

ANEXO 1

Aquecimento

III. Alongamento: realizado com o voluntário em pé de maneira auto assistida e estática, cada posição foi mantida por 15 segundos. Foram abordados os seguintes grupos musculares na seguinte ordem:

- a. Esternocleidomastoideo e trapézio superior: inclinação lateral de cervical;
- b. Esternocleidomastoideo: extensão cervical;
- c. Trapézio: flexão cervical;
- d. Flexores do punho: com o cotovelo em estendido realizar a extensão do punho;
- e. Extensores do punho: com o cotovelo em estendido realizar a flexão do punho;
- f. Tríceps: flexão de cotovelos com o ombro flexionado próximo a 180°;
- g. Grande dorsal: inclinação do tronco;
- h. Quadríceps: realizar a flexão do joelho levando o pé em direção ao glúteo;
- i. Isquiotibiais e Tríceps sural: com uma perna a frente da outra, descarregar o peso na perna da frente realizando a extensão de quadril e joelho da perna de trás, mantendo o calcanhar apoiado no chão;
- j. Adutores de quadril: com as pernas paralelas e afastadas, descarregar o peso em uma das pernas, realizando a abdução de quadril da perna contralateral.

IV. Exercícios: realizados de maneira ativa livre com o voluntário em pé.

- *Membros inferiores:*

- a. Flexão plantar, 15 repetições cada lado;
- b. Trílice flexão, 15 repetições cada lado;
- c. Abdução de quadril, 15 repetições cada lado;
- d. Flexão de joelho, 15 repetições cada lado;
- e. Adução e abdução de quadril: com as pernas paralelas e afastadas alternar a descarga de peso nas pernas, 20 repetições;

- Membros superiores:

6. Desenvolvimento: com os ombros abduzidos a 90° e cotovelos flexionados realizar a extensão dos cotovelos e continuar a abdução do ombro, 15 repetições;
7. Abdução de ombro até 90°, 15 repetições;
8. Extensão de ombro, 15 repetições;
9. Soco cruzado alternado, 15 repetições;
10. Com os ombros abduzidos a 90° realizar a adução horizontal dos ombros cruzando uma mão sobre a outra e voltando a posição inicial, 15 repetições;

- Exercícios combinados:

5. Flexão plantar associada a flexão de cotovelo, 15 repetições;
6. Abdução horizontal de ombro associada a abdução do quadril ipsilateral, 15 repetições cada lado;
7. Agachamento associado a flexão de ombro, 15 repetições;
8. Afundo associado a abdução de ombro, 15 repetições;

Conclusão

A análise da influência da hidratação, realizada de maneira individualizada durante e após o exercício, na dinâmica não linear da FC nos períodos de exercício e recuperação de uma sessão de reabilitação cardiovascular em indivíduos coronariopatas revelou que:

- I. A característica da dinâmica não linear da FC de coronariopatas nos períodos de exercício e recuperação é semelhante a encontrada em jovens saudáveis;
- II. A perda de líquidos que ocorre durante uma sessão de reabilitação cardiovascular não é suficiente para alterar de maneira significativa as respostas não lineares durante o exercício, porém, é suficiente para causar uma recuperação mais lenta após o exercício;
- III. A hidratação realizada durante e após o exercício é capaz de acelerar a recuperação da dinâmica não linear da FC, porém não teve efeitos durante o exercício.

E ainda, quando os diferentes níveis de AC são considerados tem-se que:

- I. A característica da dinâmica não linear da FC durante o exercício e a recuperação de coronariopatas com melhor e pior aptidão cardiorrespiratória é semelhante;
- II. A perda de líquidos que ocorre durante uma sessão de reabilitação parece ter um maior impacto nos indivíduos com pior AC, uma vez que a hidratação foi capaz de amenizar a alteração da taxa de recorrência durante o exercício nesses indivíduos;
- III. A perda de líquidos é capaz de retardar o processo de recuperação dos indivíduos coronariopatas independentemente do seu nível de AC;
- IV. A hidratação é eficiente na aceleração da recuperação dos indivíduos coronariopatas, independentemente do seu nível de AC, porém, parece ter maiores benefícios para indivíduos com menor aptidão.

Diante desses resultados, conclui-se que a hidratação é uma técnica eficiente para acelerar a recuperação da dinâmica não linear da população analisada e ainda, para os indivíduos com menor AC a hidratação influenciou também as respostas durante o exercício. Diante desses resultados, sugerimos que essa estratégia de hidratação seja aplicada no ambiente clínico dos PRC, uma vez que essa é uma estratégia de baixo custo que pode ser facilmente inserida da dinâmica de funcionamento desses programas.

Referências

1. Servey JT, Stephens M, Services U. Cardiac Rehabilitation: Improving Function and Reducing Risk. *Card Rehabil.* 2016;94(1):37–43.
2. Anderson L, Oldridge N, Thompson DR, Zwisler A, Ress K, Martin N, et al. Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Coronary Heart Disease. *J Am Coll Cardiol.* 2016;67(1):1–12.
3. Lavie CJ, Milani R V. Cardiac Rehabilitation and Exercise Training in Secondary Coronary Heart Disease Prevention. *Prog Cardiovasc Dis.* 2011;53(6):397–403.
4. Price KJ, Gordon BA, Bird SR, Benson AC. A review of guidelines for cardiac rehabilitation exercise programmes: Is there an international consensus? *Eur J Prev Cardiol.* 2016;23(16):1715–33.
5. Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic Adjustments to Exercise in Humans. *Compr Physiol.* 2015;5:475–512.
6. Romero SA, Minson CT, Halliwill XJR. Recovery from Exercise The cardiovascular system after exercise. *J Appl Physiol.* 2017;122:925–32.
7. Luttrell MJ, Halliwill JR. Recovery from exercise : vulnerable state , window of opportunity , or crystal ball ? *Front Physiol.* 2015;6(204):1–6.
8. Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ, Blair SN, Corrado D, Iii NAME, et al. Exercise and acute cardiovascular events: placing the risks into perspective a scientific statement from the american heart association council on nutrition , physical activity , and metabolism and the council on linical cardiology. *Circulation.* 2007;115(17):2358–69.
9. Qiu S, Cai X, Sun Z, Li L, Zuegel M, Steinacker JM, et al. Heart Rate Recovery and Risk of Cardiovascular Events and All-Cause. *J Am Hear Assoc.* 2017;6:1–12.
10. Arena R, Guazzi M, Myers J, Peberdy MA. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure. *Am Hear J.* 2006;151(4):851.e7-13.
11. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL de M. Heart rate recovery: autonomic determinants , methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014;34(5):327–39.
12. Vanderlei FM, Moreno IL, Carlos L, Vanderlei M, Pastre CM. Effects of different protocols of hydration on cardiorespiratory parameters during exercise and recovery. *Int Arch Med.* 2013;6(33):1–10.
13. Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A. Massage and Performance Recovery : A Meta-Analytical Review. *Sport Med.* 2016;46(2):183–204.
14. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athlestes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994;24(6):1529–35.
15. Ushijima A, Fukuma N, Kato Y, Aisu N, Mizuno K. Sympathetic excitation during exercise as a cause of attenuated heart rate recovery in patients with myocardial infarction. *J Nippon Med Sch.* 2009;76(2):76–83.
16. Mazurek JA, Jessup M. Understanding Heart Failure. *Heart Fail Clin.* 2017;13:1–19.

17. Trevizani GA, Benchimol-barbosa PR, Nadal J. Effects of age and aerobic fitness on heart rate recovery in adult men. *Arq Bras Cardiol.* 2012;99(3):802–10.
18. Buchheit M, Gindre C. Cardiac parasympathetic regulation: Respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol - Hear Circ Physiol.* 2006;291(1).
19. Dhoble A, Lahr BD, Allison TG, Kopecky SL. Cardiopulmonary fitness and heart rate recovery as predictors of mortality in a referral population. *J Am Heart Assoc.* 2014;3(2):1–9.
20. Brown F, Gissane C, Howatson G. *Compression Garments and Recovery from Exercise : Sport Med.* 2017;
21. Rose C, Edwards KM, Siegler J, Graham K, Caillaud C. Whole-body Cryotherapy as a Recovery Technique after Exercise : A Review of the Literature Authors. *Int J Sport Med.* 2017;38:1049–60.
22. Mcdermott BP, Anderson SA, Lawrence E, Casa DJ, Samuel N, Cooper L, et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for the physically active. *J Athl Train.* 2017;52(9):877–95.
23. Vanderlei FM, Moreno IL, Carlos L, Vanderlei M, Pastre CM, Abreu LC De, et al. Comparison of the effects of hydration with water or isotonic solution on the recovery of cardiac autonomic modulation. *Int J Sport Nutr Exe.* 2015;25(2):145–53.
24. Shaffer F, Ginsberg JP, Shaffer F. An Overview of Heart Rate variability Metrics and Norms. *Front Public Heal.* 2017;5(258):1–17.
25. Godoy MF. Nonlinear Analysis of Heart Rate Variability : A Comprehensive Review. *J Cardiol Ther.* 2016;3(3):528–33.
26. Meyerfeldt U, Wessel N, Schutt H, Selbig D, Schumann A, Voss A, et al. Heart rate variability before the onset of ventricular tachycardia : differences between slow and fast arrhythmias. *Int J Cardiol.* 2002;84:141–51.
27. Higgins JP. Nonlinear Systems in Medicine. *Yale J Biol Med.* 2002;75:247–60.
28. Goldberger AL. Fractal Variability Versus Pathologic Periodicity : Complexity Loss and Stereotypy in Disease. *Perspect Biol Med.* 1997;40(4):543–61.
29. Porta A, Rienzo M Di, Wessel N, Kurths J. Addressing the complexity of cardiovascular regulation. *Phil Trans R Soc A.* 2009;367:1215–8.
30. Porta A, Tobaldini E, Guzzetti S, Furlan R, Montano N, Gneccchi-ruscione T. Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. *Am J Physiol Hear Circ Physiol.* 2007;293:702–8.
31. Gronwald T, Hoos O, Hottenrott K. Effects of a Short-Term Cycling Interval Session and Active Recovery on Non-Linear Dynamics of Cardiac Autonomic Activity in Endurance Trained Cyclists. *J Clin Med.* 2019;8(194).
32. Gronwald T, Hoos O, Ludyga S, Hottenrott K. Non-linear dynamics of heart rate variability during incremental cycling exercise. *Res Sport Med.* 2018;1–11.

33. Casties J, Mottet D, Le Gallais D. Non-Linear Analyses of Heart Rate Variability During Heavy Exercise and Recovery in Cyclists. *Int J Sport Med*. 2005;26:1–6.
34. Goulopoulou S, Fernhall B, Kanaley JA. Hemodynamic responses and linear and non-linear dynamics of cardiovascular autonomic regulation following supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2009;105:525–31.
35. Javorka M, Javorka K, Republic S. Heart rate recovery after exercise : relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian J Med Biol Res*. 2002;35:991–1000.
36. Hoshi RA, Vanderlei LCM, de Godoy MF, Bastos F do N, Netto J, Pastre CM. Temporal sequence of recovery-related events following maximal exercise assessed by heart rate variability and blood lactate concentration. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017;37(5):536–43.