



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

LILIANA DE LA PIEDRA CORREA

IMPACTO DO DESUSO MUSCULAR DE TENISTAS NAS RESPOSTAS DE  
FREQUÊNCIA CARDÍACA DURANTE ATIVAÇÃO DO METABORREFLEXO  
MUSCULAR - UMA HIPÓTESE

Brasília  
2022

LILIANA DE LA PIEDRA CORREA

IMPACTO DO DESUSO MUSCULAR DE TENISTAS NAS RESPOSTAS DE  
FREQUÊNCIA CARDÍACA DURANTE ATIVAÇÃO DO METABORREFLEXO  
MUSCULAR - UMA HIPÓTESE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Educação Física da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para a obtenção do  
grau de Bacharel em Educação Física.

Orientador: Lauro Casqueiro Vianna

Brasília  
2022

LILIANA DE LA PIEDRA CORREA

IMPACTO DO DESUSO MUSCULAR DE TENISTAS NAS RESPOSTAS DE  
FREQUÊNCIA CARDÍACA DURANTE ATIVAÇÃO DO METABORREFLEXO  
MUSCULAR - UMA HIPÓTESE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Educação Física da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para a obtenção do  
grau de Bacharel em Educação Física.

Brasília, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Lauro Casqueiro Vianna  
Universidade de Brasília

---

Prof. Ma. Rosa Virginia Diaz Guerrero  
Universidade de Brasília

“Uma marca infalível do amor à verdade é não considerar nenhuma proposição com uma convicção maior do que a autorizada pelas provas em que se fundamenta.” (John Locke)

## RESUMO

O treinamento físico dos tenistas, por ser um esporte majoritariamente unilateral, aumenta o diâmetro da artéria braquial, volume, largura do antebraço e força máxima de preensão manual do membro dominante. Essas mudanças estão relacionadas a uma melhor resposta hiperêmica reativa nesse membro. Já o membro não-dominante apresenta menos força relativa e massa muscular mesmo quando comparados à indivíduos controle, o que os aproxima de condições de desuso muscular. Contudo, não há na literatura evidências sobre os efeitos do desuso do membro não dominante nos mecanismos neurais que regulam o sistema cardiovascular durante o exercício. Assim, o objetivo desse estudo foi estabelecer uma hipótese sobre o impacto do desuso muscular nas respostas de frequência cardíaca durante ativação isolada do metaborreflexo muscular de tenistas. Assim, nós hipotetizamos que o desuso do membro não dominante de tenistas atenua a sensibilidade dos metaborreceptores de tal forma que ativando isoladamente o metaborreflexo muscular por meio de exercício seguido de isquemia pós-exercício a resposta autonômica simpática seja atenuada, reduzindo os aumentos da atividade nervosa simpática muscular (ANSM) e retardando a recuperação da frequência cardíaca (FC) aos níveis basais.

**Palavras-chave:** Desuso muscular; tenistas; metaborreflexo; frequência cardíaca

## ABSTRACT

As a mostly unilateral sport, tennis practice increases the diameter of the brachial artery, the volume and width of the forearm as well as the maximum handgrip force of the dominant limb. These changes are related to a better reactive hyperemic response in this limb. The non-dominant arm presents less relative strength and muscle mass even when compared to control subjects, which resembles conditions of muscle disuse. However, there is no evidence in the literature on the effects of nondominant limb disuse on neural mechanisms that regulate the cardiovascular system during exercise. Thus, the aim of this study was to establish a hypothesis about the impact of muscle disuse on heart rate responses during isolated activation of the muscular metaborreflex of tennis players. We hypothesized that the disuse of the nondominant limb of tennis players attenuates the sensitivity of the metaborreceptors in such a way that activating the muscular metaborreflex alone through exercise followed by post-exercise ischemia the sympathetic autonomic response is attenuated, reducing increases in muscle sympathetic nerve activity (MSNA) and slowing recovery of heart rate (HR) to baseline levels.

**Keywords:** Muscle disuse; tennis players; metaborreflex; heart rate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Reflexo pressor do exercício .....	13
Gráfico 1 — Variação da ANSM.....	20

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

RPE	Reflexo pressor do exercício
ANSM	Atividade nervosa simpática muscular
PA	Pressão arterial
FC	Frequência cardíaca
IPE	Isquemia pós exercício
CVM	Contração voluntária máxima

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1	HIPÓTESE .....	10
1.2	JUSTIFICATIVA .....	10
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	12
2.1	ASSIMETRIAS ENTRE OS MEMBROS DOMINANTE E NÃO-DOMINANTE DE TENISTAS E SUAS IMPLICAÇÕES .....	12
2.2	O REFLEXO PRESSOR DO EXERCÍCIO .....	12
2.2.1	O METABORREFLEXO MUSCULAR .....	14
2.2.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO METABORREFLEXO MUSCULAR ....	14
2.3	ATIVAÇÃO METABORREFLEXA NO DESUSO MUSCULAR .....	15
2.4	ATIVAÇÃO DO METABORREFLEXO NO CONTROLE DA FREQUENCIA CARDÍACA .....	17
3	<b>AVALIAÇÃO DA HIPÓTESE</b> .....	19
3.1	RESULTADOS ESPERADOS .....	19
3.1.1	DISCUSSÃO .....	21
4	<b>CONCLUSÃO</b> .....	23
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	24
	APÊNDICE A — Desenho experimental proposto .....	27

## 1 INTRODUÇÃO

O treinamento físico dos tenistas, por ser um esporte majoritariamente unilateral, aumenta o diâmetro da artéria braquial, volume, largura do antebraço e força máxima de preensão manual do membro dominante. Essas mudanças estão relacionadas a uma melhor resposta hiperêmica reativa nesse membro, conforme demonstrado por Green et al., (1985). Já o membro não-dominante apresenta menos massa muscular e força relativa mesmo quando comparados a indivíduos controle, o que os aproxima de condições de desuso muscular (VIANNA et al., 2008). Contudo, não há na literatura evidências sobre os efeitos do desuso do membro não dominante nos mecanismos neurais que regulam o sistema cardiovascular durante o exercício.

As evidências dos benefícios do exercício físico na literatura são bem estabelecidas, tornando tais intervenções basilares no tratamento de doenças cardiovasculares. Durante o exercício físico, mecanismos neurais efetuam ajustes autonômicos regulando as variações hemodinâmicas e cardiovasculares com destaque para o comando central, o reflexo pressor do exercício e o barorreflexo. Dentre esses, o reflexo pressor do exercício, por sua relevância no aumento da atividade nervosa simpática e da pressão arterial durante o exercício tem sido objeto de muitos estudos. É sabido que durante a ativação do metaborreflexo muscular, a frequência cardíaca retorna à níveis basais pré exercício e isso acontece por uma reativação da atividade nervosa parassimpática para o coração (FISHER et al., 2010). Estudos sobre a variabilidade da frequência cardíaca pós exercício tem notável interesse clínico visto que há evidências robustas a respeito de sua utilização como preditor de mortalidade de acordo com a velocidade de recuperação (JOUVEN et al., 2005).

Assim, esse trabalho, tem por objetivo apresentar uma hipótese a respeito do impacto do desuso muscular no controle cardiovascular durante o exercício, em especial nas respostas da frequência cardíaca durante a ativação do metaborreflexo muscular.

## 1.1 HIPÓTESE

Partindo da premissa de que o membro não dominante de tenistas se aproxima de condições de desuso muscular, hipotetizamos que tal desuso atenua a sensibilidade dos metaborreceptores, ao passo que hipersensibiliza os mecanorreceptores provocando hiperativação nervosa simpática, elevando a frequência cardíaca e a pressão arterial. Ativando isoladamente o metaborreflexo muscular por meio de exercício seguido de isquemia pós-exercício espera-se que essa resposta autonômica simpática seja atenuada. Acreditamos que o desuso muscular do membro não dominante desses atletas provoque adaptações nas respostas cardiovasculares mediadas pelo ergorreflexo.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

É bem estabelecido na literatura que o exercício físico é benéfico para o sistema cardiovascular, tornando-se assim primordial no tratamento de doenças cardiovasculares (MYERS, 2003). Apesar de o exercício provocar aumentos da pressão arterial, o treinamento pode provocar redução crônica da pressão arterial sistólica e diastólica (CORNELISSEN et al., 2011). Este efeito positivo do exercício se dá, em parte, por alterações no sistema nervoso autônomo, função endotelial, expansão do volume e remodelamento cardíaco (FU & LEVINE, 2013). Essas alterações ocorrem por vias centrais ou periféricas.

Durante o exercício físico, vários mecanismos neurais são responsáveis por ajustes autonômicos e através de complexa interação entre eles controlam as mudanças hemodinâmicas e cardiovasculares de uma maneira dependente da intensidade. Estão envolvidos os sinais centrais do cérebro nos componentes volitivos do exercício (comando central); sinais periféricos decorrentes de aferências mecânicas e sensitivas da contração do músculo-esquelético (reflexo pressor do exercício); feedbacks originados do estiramento de receptores aórticos e carótidos (barorreflexo arterial) e, receptores de estiramento sensíveis à baixa pressão e

volume sanguíneo central localizados no coração, grandes veias, vasos sanguíneos e pulmões (barorreflexo cardiopulmonar) (FISHER et al.,2010).

Atualmente o reflexo pressor do exercício tem sido bastante estudado já que é um dos principais mecanismos de aumento de pressão arterial e atividade nervosa simpática durante o exercício. Baseado no modelo de desuso muscular proposto no presente estudo (i.e., tenistas) já foi observado que o treinamento físico dos tenistas aumenta o diâmetro da artéria braquial (JOUVEN et al.,2005), volume, largura do antebraço e força máxima de handgrip do membro dominante e essas mudanças estão relacionados a uma melhor resposta hiperêmica reativa nesse membro (GREEN et al.,1985). Contudo, não há na literatura evidências sobre os efeitos do desuso muscular do tenista (i.e., membro não dominante) nos mecanismos neurais que regulam o sistema cardiovascular durante o exercício.

Assim, é de suma importância compreender se esses mecanismos neurais, especificamente o metaborreflexo muscular estão relacionados com as respostas atenuadas provenientes do desuso muscular e de que maneira a variabilidade da frequência cardíaca é afetada nessas condições.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ASSIMETRIAS ENTRE OS MEMBROS DOMINANTE E NÃO-DOMINANTE DE TENISTAS E SUAS IMPLICAÇÕES

O tênis é um esporte que demanda movimentos assimétricos, resultando em uma distribuição assimétrica de massa muscular e desequilíbrio no tônus muscular entre o membro dominante e o não dominante, levando a diferenças na densidade mineral óssea, força de preensão manual (IRELAND et al.,2014) e diâmetro da artéria braquial. Tais mudanças estão relacionadas a uma melhor resposta hiperêmica reativa nesse membro (GREEN et al., 1985)

Kagaya et al., (2009) avaliando o fluxo sanguíneo e alteração do diâmetro arterial durante o exercício de preensão manual nos membros dominante e não dominante de tenistas, demonstraram que a diferença lateral no fluxo sanguíneo foi detectada pós-exercício quando a contração muscular foi encerrada, mas não diferiu entre os braços durante o exercício, o que é consistente com vasodilatação mediada por metaborreceptores.

As diferenças entre os membros dominante e não dominante de tenistas permitem contornar alguns vieses de seleção, permitindo o estudo comparativo intrassujeito, O membro não dominante desses atletas se aproxima de condições de desuso muscular, apresentando assimetrias significativas, com diferenças de 10 a 20 vezes maiores que as encontradas em indivíduos sedentários (IRELAND et al.,2014).

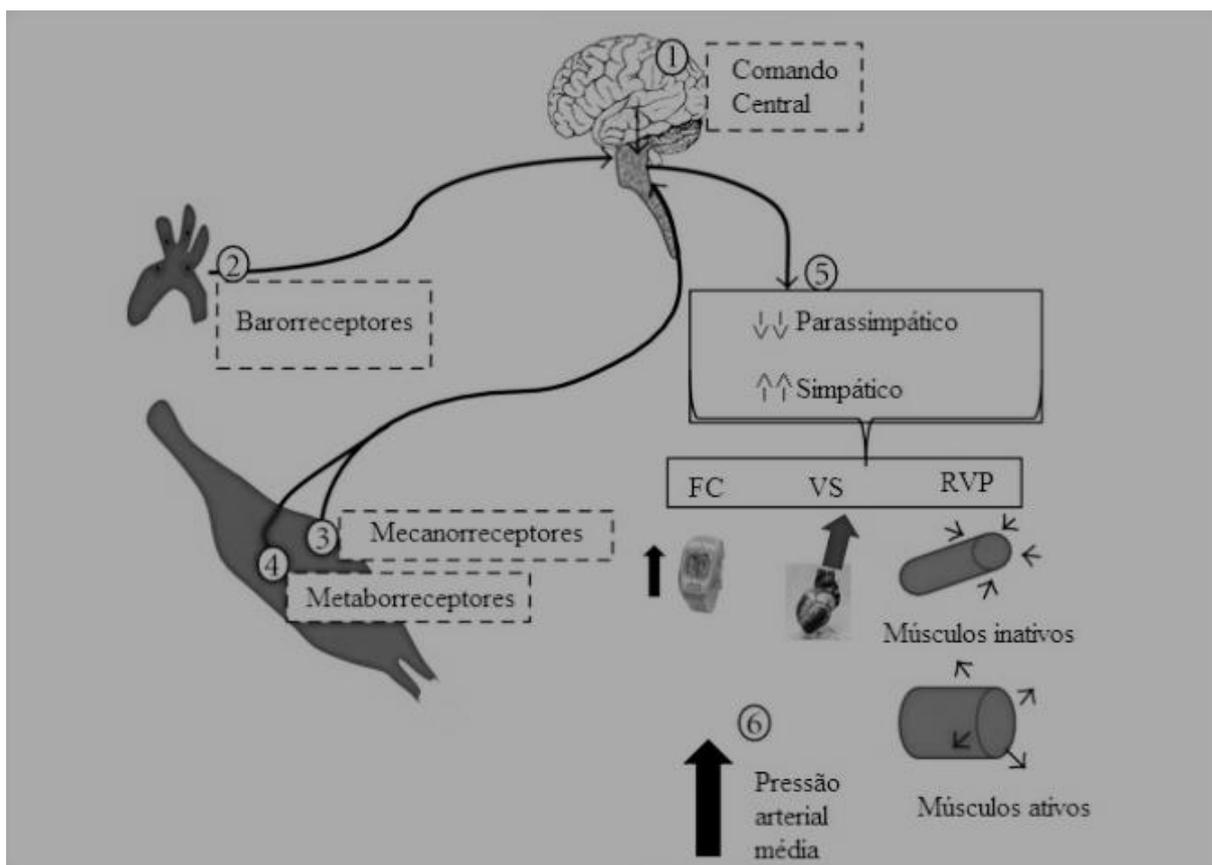
### 2.2 O REFLEXO PRESSOR DO EXERCÍCIO

O metaborreflexo, cuja influência queremos avaliar, é um dos componentes do reflexo pressor do exercício - RPE, que por sua vez é um dos principais mediadores das respostas cardiovasculares ao exercício.

As alterações autonômicas durante o exercício são críticas para redistribuir o débito cardíaco em direção aos músculos em contração evitando a queda da pressão arterial devido à vasodilatação excessiva em seu interior. Os mecanismos neurais responsáveis por esses ajustes incluem o comando central, o RPE e os

barorreflexos arteriais e cardiopulmonares. O RPE (Figura 2) promove aumentos reflexos na atividade nervosa simpática para o coração e vasos e diminui a atividade parassimpática, o que provoca aumento da pressão arterial (PA), da frequência cardíaca e da resistência periférica total por meio da vasoconstrição (GROTLE, 2020).

Figura 1 — Reflexo pressor do exercício



Fonte: Adaptado de Dipla, Nassis e Vrabas (2014). Interação entre (1) comando central, (2) barorreceptores arterial, (3) mecanorreceptores, (4) metaborreceptores, (5) sistema nervoso autônomo. Durante o exercício, os sinais neurais provenientes de regiões cerebrais superiores (1) e aferentes periféricos de barorreceptores arteriais (2) e músculo esquelético, (3 e 4) resultando em ajustes simpático e parassimpático (5) que elevam a frequência cardíaca (FC), o volume sistólico (VS) e a resistência vascular periférica (RVP), gerando vasoconstrição nos músculos inativos, aumento da pressão arterial média e vasodilatação nos músculos ativos (6). Dipla, Nassis e Vrabas (2014).

O RPE possui um componente de fibras musculares aferentes dos tipos III e IV que despolarizam em resposta a estímulos mecânicos, o mecanorreflexo, e um componente metabólico, o metaborreflexo, proveniente da ativação do sistema nervoso simpático durante a contração muscular (TEIXEIRA, 2019). O

mecanorreflexo muscular é predominantemente mediado pelas fibras do tipo III, enquanto o metaborreflexo muscular é predominantemente mediado pelas fibras do tipo IV.

Em suma, o RPE representa um mecanismo de *feedback* provocado por estimulação mecânica e metabólica dos aferentes músculos esqueléticos sensibilizados durante o exercício. A estimulação dessas fibras promove uma redução da atividade parassimpática e aumento do fluxo simpático levando a uma elevação da frequência cardíaca, da pressão arterial e ventilação de forma dependente da intensidade (KAUFMAN e HAYES, 2002).

### 2.2.1 O METABORREFLEXO MUSCULAR

O metaborreflexo é ativado durante o exercício quando os metabólitos produzidos pela contração muscular precisam ser removidos em função da redução do aporte de oxigênio que deixa de ser suficiente para suprir a demanda muscular localizada. Tais metabólitos estimulam a ativação simpática, promovendo aumento da ventilação pulmonar e vasoconstrição periférica, acarretando maior oxigenação da musculatura ativa para transportá-los (LEUENBERGER, 2010). De acordo com Mitchell (1985), o metaborreflexo tem a capacidade de melhorar o desempenho cardíaco, aumentando a frequência cardíaca e a contratilidade miocárdica à custa de um aumento do consumo de oxigênio.

Negrão et al. (2001) observaram que a ativação do metaborreflexo tem ainda seus efeitos mediados pela interação com o barorreflexo arterial e com o comando central, resultando em aumento da PA, FC e débito cardíaco, bem como no desempenho ventricular, no entanto, foi observado que durante sua ativação ocorre ainda a redução da perfusão em membros que não estão ativos.

### 2.2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO METABORREFLEXO MUSCULAR

Experimentalmente, o padrão ouro para avaliação do metaborreflexo é por meio da isquemia pós exercício (IPE), uma manobra simples, em que os metabólitos são aprisionados no membro em avaliação por meio de oclusão circulatória em

protocolos variados com exercícios estáticos ou dinâmicos (TEIXEIRA & VIANNA, 2022). Tal manobra permite isolar o metaborreflexo dos efeitos do comando central, mecanorreflexo e do barorreflexo arterial. As variações da ANSM representam o comportamento da ativação metaborreflexa (GREGORY & BICKEL, 2005).

Adicionalmente, costuma-se avaliar alterações do fluxo sanguíneo, resistência periférica, débito cardíaco ou ventilação como forma de verificar o comportamento da resposta pressórica durante a ativação do metaborreflexo. Tal aferição pode ser feita por pletismografia de oclusão venosa. Tal método foi inicialmente descrito por Hewllet e Zwaluwemburg em 1909 e continua sendo usado por sua aplicação simples e confiabilidade (WYTHE et al., 2015).

O uso da ultrassonografia com Doppler para medida do fluxo sanguíneo também é habitual em estudos que almejam avaliar os efeitos da ativação do metaborreflexo muscular, embora a pletismografia possa avaliar com precisão a resposta do fluxo sanguíneo ao exercício de acordo com estudos que compararam as técnicas (BYSTROM et al., 1998).

A microneurografia, isolada ou em conjunto com a pletismografia, por meio de medida direta da ANMS pode ser utilizada para avaliação da ativação metaborreflexa mediante a contagem de impulsos em determinado tempo que refletem a intensidade da ANSM (NEGRÃO et al., 2001).

### 2.3 ATIVAÇÃO METABORREFLEXA NO DESUSO MUSCULAR

Estudos avaliando os efeitos do desuso muscular sobre a regulação autonômica usualmente são realizados em indivíduos com insuficiência cardíaca ou por meio de repouso forçado. De acordo com Corcoran (1991) o repouso prolongado leva a reduções progressivas do volume sanguíneo e prejudica o retorno venoso, provocando uma redução gradual do volume diastólico e declínio do volume sistólico. Para neutralizar essa diminuição no volume sistólico e manter o débito cardíaco suficiente, um aumento gradual da frequência cardíaca normalmente ocorre em pacientes confinados ao leito. Após quatro semanas de repouso, a frequência cardíaca em repouso aumenta em cerca de 10 batimentos por minuto (bpm). Da mesma forma, a frequência cardíaca após o exercício é até 40 bpm mais rápida em

pacientes que acabaram de ter um período de repouso, e sua tolerância ao exercício não se normalizará totalmente até 5-10 semanas após a remobilização.

Kamiya et al. (2004), demonstraram que o aumento da atividade nervosa simpática muscular em exercícios isométricos de flexão plantar seguidos de isquemia pós exercício após repouso forçado de 14 dias com a cabeça em posição inferior aos pés é atenuada, sugerindo que a ativação do metaborreflexo muscular estaria ausente ou fortemente reduzida. Os mesmos resultados não foram encontrados quando o experimento foi realizado no antebraço, provavelmente porque o repouso nessas condições provoca atrofia mais acentuada nos músculos da perna e não nos músculos dos membros superiores. Os dados mostraram ainda que as respostas da frequência cardíaca à flexão plantar não mudaram após o repouso forçado, apesar dos aumentos atenuados na atividade nervosa simpática muscular, possivelmente porque as respostas vagais cardíacas ao exercício podem ter aumentado após o repouso, compensando a atenuação das respostas neurais simpáticas.

Já Antunes-Corrêa et al. (2012), avaliaram a ativação do metaborreflexo em pacientes com insuficiência cardíaca crônica (ICC), que sabidamente apresentam anormalidades músculo esqueléticas, tais como decréscimo de massa muscular e redução da capacidade oxidativa, obtendo resultados que sugerem que a exacerbação da atividade nervosa simpática muscular ao exercício isométrico seguido de isquemia é reflexo do aumento da ativação do metaborreflexo muscular. Nesse mesmo diapasão, Piepoli et al. (2006) relataram uma superativação do metaborreflexo muscular correlacionada à perda de massa muscular em pacientes com ICC.

Wang et al. (2010) em um estudo em ratos com ICC evidenciaram que as fibras aferentes do tipo III, relacionadas ao mecanorreflexo apresentam maior sensibilização enquanto as fibras do tipo IV, associadas ao metaborreflexo apresentavam sensibilidade atenuada. Essas evidências são suportadas ainda por experimentos em animais realizados por Li et al. (2004) que verificaram que durante o exercício em ratos com ICC, a contribuição dos metaborreceptores na ANSM é reduzida, enquanto a contribuição dos mecanorreceptores é acentuada. Tais achados estão em consonância com os obtidos por Sterns et al. (1991) e Middlekauff et al. (2000) em estudos com humanos.

O estudo de Sterns et al. (1991) avaliou a atividade nervosa simpática muscular (ANSM) do nervo fibular por microneurografia devido à ativação metaborreflexa durante exercício estático do antebraço com oclusão circulatória pós exercício em um grupo de sujeitos com ICC e um grupo controle pareado por idade com o grupo experimental. Os resultados mostraram que durante o exercício estático, a ANSM aumentou de forma semelhante nos dois grupos. Entretanto, a ANSM decresceu a valores próximos dos basais durante a oclusão circulatória pós exercício no grupo experimental, ao passo que permaneceu elevada no grupo controle, sugerindo que a resposta à ativação metaborreflexa está atenuada.

Middlekauff et al. (2000), avaliaram a vasoconstrição renal utilizando tomografia por emissão de pósitrons durante o exercício de preensão manual de 39 pacientes com ICC e de um grupo controle com 38 sujeitos pareados por idade com o grupo experimental. Foi observado que o pico de vasoconstrição renal aumentou significativamente no grupo experimental em comparação com o controle. A vasoconstrição retornou aos valores de base no grupo controle em 2 a 5 minutos, mas permaneceu significativamente aumentada nos pacientes com ICC aos 2 a 5 minutos e só retornou aos valores basais em 20 minutos. Por outro lado, durante a oclusão circulatória pós exercício utilizada no experimento, que isolou os metaborreceptores musculares, o pico de vasoconstrição renal estava atenuado no grupo experimental quando comparado ao controle, sugerindo que a sensibilidade dos metaborreceptores musculares está reduzida.

#### 2.4 ATIVAÇÃO DO METABORREFLEXO NO CONTROLE DA FREQUENCIA CARDÍACA

A ativação isolada do metaborreflexo usando IPE após exercício de preensão manual mantém os aumentos induzidos pelo exercício da PA e da ANSM por um período, enquanto a FC é reduzida aos valores de repouso (FISCHER et al., 2010). Usando eliminação farmacológica seletiva dos tônus cardíaco simpático e parassimpático, os autores demonstraram que tal redução é resultado de um efeito significativo de reativação parassimpática cardíaca, que mascara a taquicardia medida pelo simpático na ativação do metaborreflexo muscular. Em resumo, a ativação metaborreflexa aumenta a ANSM, mas para que isso seja traduzido em um

efeito na FC, é necessária uma ativação metaborreflexa de tal magnitude que supere a reativação simpática.

### 3 AVALIAÇÃO DA HIPÓTESE

Sabe-se que as respostas cardiovasculares ao exercício são controladas tanto pelo comando central, quanto pelos mecanismos periféricos. Tanto os estímulos mecânicos quanto metabólicos, conforme exposto na seção 3, produzem alterações cardiovasculares. No entanto, tais respostas podem ser afetadas por outros fatores além da intensidade do exercício. Por aproximar-se de condições de desuso muscular, o membro não dominante de tenistas está sujeito às alterações esperadas para essa condição.

O músculo esquelético é um tecido adaptável dependente da atividade e que responde de acordo com os estímulos. Isso inclui alterações moleculares, propriedades metabólicas e funcionais e pode produzir um espectro de adaptações. O desuso muscular pode levar à redução de força, diminuição da seção transversal, alteração do tipo de fibra muscular, alteração das repostas hemodinâmicas (DOLBOW, 2016).

Baseado nas evidências até aqui apresentadas, hipotetizamos que o desuso muscular do membro não dominante de tenistas resulta em uma atenuação da sensibilidade dos metaborreceptores. Assim, na ativação isolada do metaborreflexo muscular por meio de exercício dinâmico seguido de isquemia pós-exercício espera-se que a resposta autonômica simpática seja atenuada.

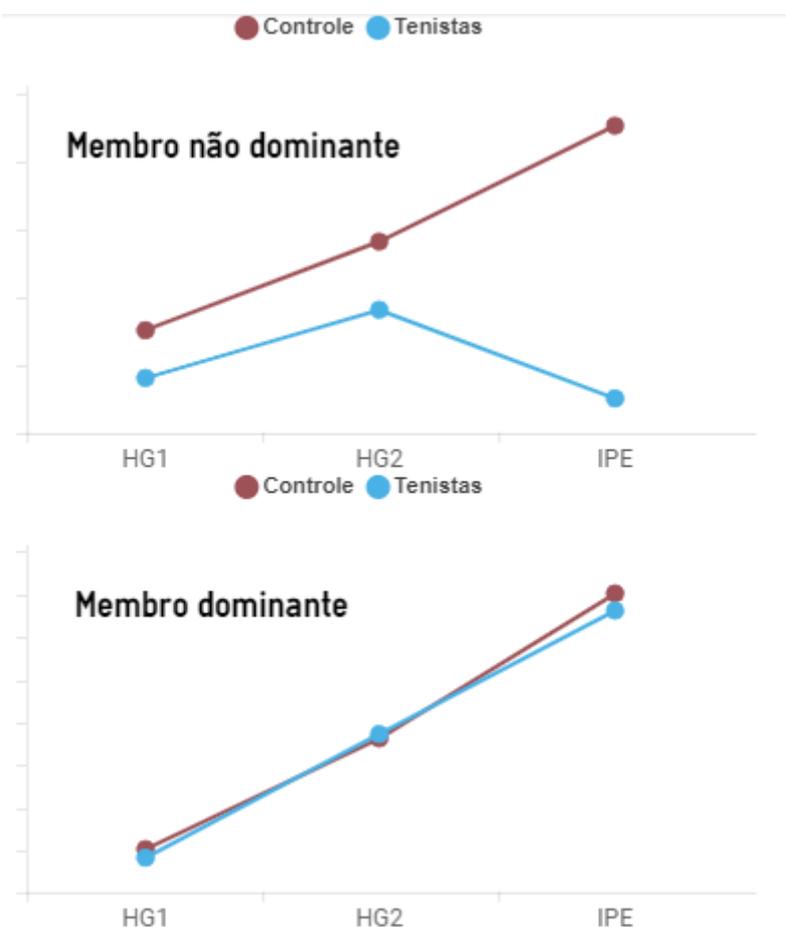
#### 3.1 RESULTADOS ESPERADOS

Ao avaliar os efeitos da ativação do metaborreflexo muscular nos membros dominante e não dominante de tenistas utilizando isquemia pós exercício (IPE) de preensão anual em um protocolo de contrações dinâmicas, ritmadas, a 50% da contração voluntária máxima (CVM) até a fadiga seguida por IPE a fim de isolar o metaborreflexo muscular, espera-se encontrar o seguinte comportamento das variáveis

A atividade nervosa simpática durante a ativação do metaborreflexo muscular no grupo controle em ambos os membros, bem como no membro dominante de tenistas provavelmente apresentará aumento durante o exercício de preensão manual, bem como durante a oclusão circulatória, ao passo que na avaliação do

membro não dominante é esperado que o aumento após a isquemia será atenuado de maneira significativa (Gráfico 1) .

Gráfico 1 — Variação da ANSM



Fonte: O autor (2022). Representação hipotética da variação da ANSM nos membros dominante e não dominante de tenistas e do grupo controle durante o primeiro minuto (HG1) do exercício, o segundo minuto (HG2) e o período de isquemia pós exercício (IPE).

No que se refere às respostas de frequência cardíaca na ativação do metaborreflexo muscular (IPE) é esperado que no membro não dominante, a queda aos valores de base seja mais lenta que a observada no membro dominante e no grupo controle, em função da atenuação do metaborreflexo muscular, que induzirá menores aumentos na atividade nervosa simpática cardíaca, insuficientes para superar o efeito da retirada vagal cardíaca em uma magnitude ainda menor que o esperado para o grupo controle.

Durante o exercício com o membro não dominante é esperado um pico de FC mais elevado quando comparado ao exercício com o membro dominante e o grupo controle.

### 3.1.1 DISCUSSÃO

Alterações de ativação do metaborreflexo são observadas em diversas populações, desde portadores de condições patológicas, como a ICC, até em pessoas saudáveis com características diferentes, como a encontrada entre homens e mulheres (JARVIS et al., 2011) ou em pessoas saudáveis com hábitos específicos, como corredores (CALLEGARO et al.,2011).

Os mecanismos responsáveis pela resposta atenuada da ANSM em algumas patologias e populações na ativação do metaborreflexo muscular permanecem incertos. Estudos com *bodybuilders* (SINOWAY et al., 1989) e corredores de 400 metros (CALLEGARO et al.,2011) sugerem que nessas populações, a exposição prolongada ao ácido láctico via exercícios intensos pode provocar uma atenuação na sensibilidade dos metaborreceptores; tal exposição também é encontrada em músculos sob desuso. O desuso muscular promove ainda, alteração das fibras musculares para tipos mais rápidos, gerando uma dependência precoce do metabolismo anaeróbio e acidificação intramuscular excessiva durante o exercício (SULLIVAN et al., 1988).

Nesse mesmo sentido, estudos longitudinais têm sugerido que o treinamento pode reduzir a estimulação metabólica dos aferentes musculares e que em alguns casos a exposição crônica a produtos do metabolismo anaeróbico pode reduzir a sensibilidade dos metaborreceptores musculares (FISCHER et al.,2004).

A hipótese apresentada baseia-se nas evidências relativas à atenuação da ANSM na ativação do metaborreflexo em situação de desuso muscular, fazendo com que a recuperação da frequência cardíaca seja retardada quando da ativação do metaborreflexo muscular quando comparada à ativação no membro não dominante de tenistas e ao grupo controle. Embora haja controvérsias a respeito dessa atenuação, quer nos parecer que as evidências que a suportam são mais robustas do ponto de vista metodológico. Por outro lado, cabe ressaltar que a diversidade de protocolos na utilização da IPE dos estudos realizados em pacientes

com ICC, bem como o tipo, a intensidade e a duração do exercício podem ter influência na divergência de resultados obtidos, considerando o elevado grau de plasticidade da regulação hemodinâmica que pode ser inferida pela análise dos estudos em humanos. No entanto, não há dúvida quanto à disfuncionalidade do reflexo pressor do exercício nessa condição.

Em humanos normais, a estimulação dos metaborreceptores conduz a uma vasoconstrição periférica, além de impedir que a condutância vascular exceda à capacidade de bombeamento do ventrículo esquerdo durante exercícios intensos (SINOWAY et al., 1989). A ausência de um sistema metaborreceptor íntegro pode conduzir a um uso ineficaz do débito cardíaco durante o exercício no membro não dominante de tenistas.

#### 4 CONCLUSÃO

As evidências que suportam a hipótese sugerem que a ativação do metaborreflexo muscular no membro não dominante de tenistas provoca uma atenuação nos aumentos da ANSM e recuperação retardada da FC aos níveis basais quando comparado ao membro dominante e ao grupo controle. O significado clínico bem como os mecanismos subjacentes que provocam essas respostas ainda não foram elucidados.

Assim, torna-se importante investigar a hipótese sugerida por esse trabalho, tendo em vista que a recuperação da frequência cardíaca, é um preditor independente de mortalidade em adultos saudáveis (COLE et al.,1999). A avaliação das respostas autonômicas nessa população tem ainda o potencial de contribuir no entendimento das respostas hemodinâmicas relacionadas ao desuso muscular, uma vez que os estudos conduzidos existentes são majoritariamente realizados em portadores de ICC, o que limita a intensidade do exercício. No Apêndice A apresentamos o desenho experimental sugerido para validação da hipótese aventada nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES-CORREA, Ligia M *et al.* Exercise training improves neurovascular control and functional capacity in heart failure patients regardless of age. **European Journal of Preventive Cardiology**, v. 19, n. 2, p. 822-829, Aug 2012.

BYSTROM, S *et al.* Ultrasound Doppler technique for monitoring blood flow in the brachial artery compared with occlusion plethysmography of the forearm. **Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation**, v. 58, n. 7, p. 569-76, Nov 1998.

CALLEGARO, CC *et al.* Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 177, n. 1, p. 24-9, Jun 2011.

CORCORAN, PJ. Use it or lose it--the hazards of bed rest and inactivity. **The Western Journal of Medicine**, v. 154, n. 5, p. 536-8, Mai 1991.

CORNELISSEN, Véronique A *et al.* Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized, controlled trials. **Hypertension**, v. 58, n. 5, p. 950-958, Nov 2011.

DIPLA, Konstantine; NASSIS, George P ; VRABAS, Ioannis S. Blood Pressure Control at Rest and during Exercise in Obese Children and Adults. **Journal of Obesity**, May 2014.

DOWBOL, D.R; GORGEY, A.S. Effects of Use and Disuse on Non-paralyzed and Paralyzed Skeletal Muscles. . **Aging and disease**, v. 7, n. 1, p. 68-80, Fev 2015.

FISHER, James P *et al.* Autonomic control of heart rate by metabolically sensitive skeletal muscle afferents in humans. **The Journal of Physiology**, p. 1117-1127, 08 February 2010.

FU, Qi; LEVINE, Benjamin D. Capítulo 13: Exercise and the autonomic nervous system. *In*: BUIJS, Ruud M; SWAAB, Dick F. **Handbook of Clinical Neurology**. 2013 ed, v. 117. 2013, p. 147-160.

GREEN, D J *et al.* Endothelium-derived nitric oxide activity in forearm vessels of tennis players. **Journal of applied physiology**, p. 943-948, Aug 1985.

GREGORY, CM; BICKEL, CS. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. **Physical Therapy**, v. 85, n. 4, p. 358-64, Abr 2005.

GROTLE, Ann-Katrin *et al.* Recent advances in exercise pressor reflex function in health and disease. **Autonomic Neuroscience: basic & clinical**, Nov 2020.

IRELAND, A *et al.* Effects of age and starting age upon side asymmetry in the arms of veteran tennis players: a cross-sectional study. **Osteoporosis international**, v. 25, n. 4, p. 1389-400, Abr 2014.

JARVIS, Sara S *et al.* Sex differences in the modulation of vasomotor sympathetic outflow during static handgrip exercise in healthy young humans. **American Journal of Physiology**, v. 301, n. 1, p. R193-200, Abr 2011.

JOUVEN, Xavier *et al.* Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. **New England Journal of Medicine**, 12 May 2005.

KAGAYA, A *et al.* Blood flow and arterial vessel diameter change during graded handgrip exercise in dominant and non-dominant forearms of tennis players. **Advances in experimental medicine and biology**, v. 662, p. 365-370, 2010.

KAMIYA, Atsunori *et al.* Bed rest attenuates sympathetic and pressor responses to isometric exercise in antigravity leg muscles in humans. **American Journal of Physiology**, v. 286, n. 5, p. 844-850, May 2004.

KAUFMAN, M; HAYES, S. The Exercise Pressor Reflex.. **Clinical Autonomic Research**, v. 12, p. 429-439, Dez 2002.

LEUENBERGER, Urs A. The muscle metaboreflex: reining in the heart?. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 2, p. 263-264, 2010.

LI, Jianhua *et al.* Muscle mechanoreflex and metaboreflex responses after myocardial infarction in rats. **Circulation**, v. 110, n. 19, p. 3049-54, Nov 2004.

MIDDLEKAUFF, Holly R *et al.* Exaggerated Renal Vasoconstriction During Exercise in Heart Failure Patients. **Circulation**, v. 101, n. 7, p. 784-9, Fev 2000.

MITCHELL, J.H. Cardiovascular Control During Exercise: Central and Reflex Neural Mechanisms . **The American Journal of Cardiology**, v. 55, n. 10, p. D34-D41, 1985.

MYERS, Jonathan . Exercise and Cardiovascular Health. **Circulation**, v. 107, n. 1, p. e2-e5, Jan 2003.

NEGRÃO, Carlos Eduardo *et al.* Muscle metaboreflex control is diminished in normotensive obese women. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 281, n. 2, p. H469-H475, Ago 2001.

PIEPOLI, Massimo F *et al.* Reduced peripheral skeletal muscle mass and abnormal reflex physiology in chronic heart failure. **Circulation**, v. 114, n. 2, p. 126-134, 11 Jul 2006.

SINOWAY, L *et al.* Physical training induces desensitization of the muscle metaboreflex. **Circulation**, v. 80, n. II. 290 p, 1989.

STERNS, D A *et al.* Skeletal muscle metaboreceptor exercise responses are attenuated in heart failure. **Circulation**, v. 84, n. 5, p. 2034-9, Nov 1991.

SULLIVAN, M J ; HIGGINBOTHAM, M B ; COBB, F R. Exercise training in patients with severe left ventricular dysfunction. Hemodynamic and metabolic effects. **Circulation**, v. 78, n. 3, p. 506-15, Set 1988.

TEIXEIRA, André L. **Controle neural da circulação durante o exercício em seres humanos: a contribuição dos receptores GABAA**. Brasília, f. 187, 2019 Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade de Brasília.

TEIXEIRA, André L; VIANNA, Lauro C. The exercise pressor reflex: An update. **Clinical Autonomic Research**, v. 32, p. 271-290, Mar 2022.

VIANNA, LC; RICARDO, DR; ARAUJO, CG. Training-related changes in the R-R interval at the onset of passive movements in humans. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, p. 825-832, Sep 2008.

WANG, Han-Jun *et al.* Alteration in skeletal muscle afferents in rats with chronic heart failure. **The Journal of Physiology**, v. 588, n. 24, p. 5033-47, Nov 2010.

WYTHE, S *et al.* Getting the most from venous occlusion plethysmography: proposed methods for the analysis of data with a rest/exercise protocol. **Extreme Physiology & Medicine**, v. 4, n. 8, 2015.

## APÊNDICE A — Desenho experimental proposto

### TIPO DE ESTUDO

Trata-se de proposta de estudo experimental de abordagem quantitativa, explicativo, comparativo.

### DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Serão recrutados no total 20 homens jovens saudáveis, normotensos, não fumantes, sendo 10 atletas recrutados em escolas de tênis em Brasília. Para o grupo de atletas o recrutamento será relativo ao histórico e tempo de prática do esporte (treina há pelo menos oito anos e treina atualmente quinze horas por semana). Para o grupo controle, serão recrutados 10 sujeitos pareados por idade com os tenistas.

### CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Homens jovens (18 a 29 anos), saudáveis, normotensos, não fumantes. Não fazer uso de medicamentos controlados e não ter histórico ou sintomas de doenças cardiopulmonares, metabólicas ou neurológicas.

### INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados serão coletados por meio de testes em laboratório.

### PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Cada indivíduo receberá orientações quanto aos métodos adotados na pesquisa, seus riscos e benefícios. Todos os voluntários deverão assinar um termo de consentimento livre e esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa.

Cada participante fará duas visitas ao laboratório, com intervalo entre cada visita de pelo menos 48 h. Na primeira visita será realizada a familiarização com os testes e medidas de composição corporal. Todos os indivíduos serão recomendados a não consumir alimentos nas duas horas anteriores à análise, não ingerir café nas

12 horas anteriores e não realizar atividade física e/ou consumir bebida alcóolica nas 48 horas anteriores à realização dos experimentais.

A composição corporal será mensurada através de um aparelho de radioabsorciometria de feixes duplos o DEXA (modelo DPX Bravo e Duo, marca

Lunar iDXA). Será realizado um "scan" de corpo inteiro, com o indivíduo deitado em decúbito dorsal sobre uma mesa onde a fonte e o detector serão passados através do corpo com uma velocidade relativamente lenta de 1cm.s<sup>-1</sup>. Todos os "scans" serão analisados por um investigador especializado, utilizando o programa para análise de composição corporal (GE Medical Systems Lunar), fornecendo valores de massa magra e massa gorda de corpo inteiro. A perimetria de antebraço será feita com uma fita métrica e medida no ponto de maior perímetro.

Na segunda visita será realizado o protocolo experimental: teste de função endotelial e a ativação do metaborreflexo muscular com o membro dominante e não dominante.

A FMD será mensurada na artéria braquial de ambos os braços por um equipamento de ultrassom Doppler (Logiq P5; GE Medical systems, Milwaukee, WI). O indivíduo descansará na posição supina durante 20 minutos. O indivíduo estará com o braço estendido e um cuff pneumático de rápida inflagem será posicionado no ponto imediatamente distal ao processo olecraniano. A imagem da artéria braquial será obtida no terço distal do braço (2- 10 cm acima da fossa antecubital) por meio do posicionamento uma sonda multifrequencial linear acoplada ao ultrassom. O diâmetro da artéria braquial o ângulo de insonação serão simultaneamente gravados no modo de onda pulsátil nas frequências lineares de 13 e 6 MHz respectivamente. O volume da amostra estará localizado no centro da artéria braquial e ajustado para cobrir a largura do vaso. A localização da sonda será marcada na pele. O diâmetro da artéria e a velocidade do sangue serão continuamente gravadas por um intervalo de 60 segundos. O cuff automático então será inflado rapidamente a 200 mmHg e mantido por um período de 5 minutos. O doppler voltará a ser gravado 10 segundos antes da hiperemia reativa e continuará durante 3 minutos pós esvaziamento do cuff. Será avaliada a força máxima no membro dominante e não dominante em 3 a 5 tentativas utilizando um handgrip (MLT004/ST Grip force transducer, AD instruments, NSW, Australia). Cada esforço será separado por pelo menos 1 min. Os participantes serão instruídos a realizar uma contração contra o dispositivo

de apreensão manual com a maior força possível em todas as repetições. O valor mais elevado será usado como a contração voluntária máxima (CVM). As contrações serão realizadas a 50% da CVM até a fadiga (será considerada quando o sujeito não conseguir atingir os 50% da CVM em três contrações consecutivas) para todos os sujeitos. O ritmo dos handgrips dinâmicos será guiado por um metrônomo e será de um segundo de contração para um segundo de descanso (30 contrações por minuto). Os exercícios serão seguidos de dois minutos de isquemia pós-exercício (IPE) com o objetivo de isolar o metaborreflexo muscular. Quinze segundos antes de encerrar o tempo de exercício, um manguito será inflado a uma pressão suprasistólica a fim de aprisionar os metabólitos gerados durante a contração. Durante todos os procedimentos as medidas de frequência cardíaca e pressão arterial serão monitoradas e gravadas. A frequência cardíaca será continuamente monitorada usando um eletrocardiograma de superfície padrão de chumbo II de 5 derivações.

A pressão arterial será aferida batimento-a-batimento usando fotopleletismografia (Finometer; Finapres Medical Systems, Amsterdã) colocado no dedo médio da mão que não estiver realizando o exercício posicionado ao nível do coração. Além disso, um esfigmomanômetro automático (Dixtal DX 2022+ Phillips, Manaus, BR) registrará a pressão arterial de repouso a cada minuto para validar as medidas absolutas de pressão arterial do dedo medida pelo Finometer.

Movimentos respiratórios serão monitorados através de um Pneumobelt (medidor de tensão) colocado em uma posição estável em torno do abdômen (Human NIBP Controller, AD instruments, NSW, Australia).

