

**EXERCÍCIO FÍSICO E VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA
 EM INDIVÍDUOS COM LESÃO MEDULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Aline Ângela Silva Cruz^{1,2}, Patrícia C.R. Rabelo^{1,3}, Roberta Alvim Paes Leme^{1,2}
 Tiago Maciel de Freitas^{1,2}, Daniela Maria da Cruz dos Anjos², Eduardo Stieler¹, Adriana Souza Amaral¹
 Marco Túlio de Mello¹, Andressa Silva¹

RESUMO

Indivíduos com lesão medular (LM) podem apresentar alterações no sistema cardiovascular, como diminuição da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), decorrente da perda parcial e ou total da inervação autonômica. Nessa população, o exercício físico tem sido colocado como uma intervenção que pode minimizar essas disfunções cardiovasculares. Assim, o objetivo do presente estudo foi apresentar, por meio da revisão de literatura, o comportamento da VFC em indivíduos com LM em resposta ao exercício físico agudo e crônico. A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, Web of Science, Scielo e BVS. Foram utilizados os descritores: lesão medular AND variabilidade da frequência cardíaca AND exercício físico (spinal cord injury, heart rate variability e physical exercise). Após a busca nas bases de dados foram encontrados 109 artigos sendo 65 no PubMed, 20 no Web of Science, 2 no Scielo e 22 na BVS. Desses, foram selecionados 12 artigos que preencheram os critérios de inclusão, sendo que, apenas 7 estudos avaliaram o efeito do exercício físico crônico na VFC e 5 artigos que avaliaram o efeito agudo. Indivíduos com LM preservam a VFC no repouso, no entanto, apresentam alguns déficits na capacidade de realizar ajustes cardiovasculares quando submetidos à sobrecarga imposta pelo exercício físico agudo. E a maioria dos estudos não encontrou diferenças na VFC ao efetuar a análise após o exercício físico crônico, independentemente do tipo, duração e intensidade do exercício físico.

Palavras-chave: Exercício Físico. Lesões da Medula Espinhal. Sistema Cardiovascular.

- 1 - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, Brasil.
- 2 - Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte, Belo Horizonte-MG, Brasil.
- 3 - Faculdade Pitágoras, Betim-MG, Brasil.

ABSTRACT

Physical exercise and heart rate variability in individuals with cord injury: a systematic review

Individuals with spinal cord injury may have changes in the cardiovascular system, such as decreased heart rate variability, due to partial and or total loss of autonomic innervation. In this population, physical exercise has been considered an intervention that can minimize these cardiovascular dysfunctions. Thus, the present study was to present, through a literature review, the behavior of heart rate variability (HRV) in individuals with spinal cord injury (SCI) in response to acute and chronic physical exercise. The search was carried out in the PubMed, Web of Science, BVS and Scielo databases. Terms used were spinal cord injury, heart rate variability, physical exercise, lesão medular, variabilidade da frequência cardíaca and exercício físico. 12 articles were selected that met the inclusion criteria, 7 studies that evaluated the effect of chronic physical exercise and 5 the acute effect. Individuals with SCI preserve HRV at rest, however, have some deficits in the ability to perform cardiovascular adjustments when subjected to the overload imposed by acute physical exercise. And most studies did not find differences in HRV when performing the analysis after chronic physical exercise, regardless of the type, duration, and intensity of physical exercise.

Key words: Physical Exercise. Spinal Cord Injuries. Cardiovascular System.

E-mails dos autores:

ninafisiobh@hotmail.com
 patikjuru@yahoo.com.br
 alvim.roberta52@gmail.com
 tiagomaciel218@gmail.com
 danielacruzanos@gmail.com
 eduardostieler@hotmail.com
 adriana_souzamaral@hotmail.com
 tmello@demello.net.br

INTRODUÇÃO

A lesão medular (LM) pode ser definida como qualquer trauma na coluna vertebral, doenças ou malformação que atingem a medula espinhal levando à interrupção do fluxo neural, resultando em déficits sensitivos, motores e autonômicos (Figoni, Kiratli e Sasaki, 2004).

Como consequência da LM, o indivíduo pode desenvolver alterações em diversos sistemas fisiológicos, dentre eles, o sistema cardiovascular (Figoni, Kiratli e Sasaki, 2004).

De acordo com o nível e extensão da lesão, o indivíduo irá apresentar um quadro de paraplegia (lesões abaixo de T1) ou tetraplegia (lesões cervicais), o que pode alterar o funcionamento do sistema cardiovascular deixando organismo mais propício ao desenvolvimento de disfunções cardíacas, que atualmente são consideradas a principal causa de morte na população (Van Der Scheer e colaboradores, 2017; Claydon e Krassioukov, 2008; Winslow e Rozovsky, 2003; DeVivo, Black e Stover, 1993).

Em indivíduos com LM, alterações cardíacas podem ser observadas em devido à perda parcial da inervação autonômica (no caso de indivíduos tetraplégicos) ou decorrente do próprio sedentarismo (Caldeira e colaboradores, 2013; Claydon e Krassioukov, 2008; Krassioukov e Claydon, 2006; Ginis e Hicks, 2005).

De fato, indivíduos com LM sedentários (paraplégico e tetraplégicos) apresentam maior modulação simpática e menor parassimpática quando comparados com indivíduos com LM fisicamente ativos (Buker, Oyarce e Plaza, 2018).

Além disso, alterações cardiovasculares também podem ocorrer devido a disfunções do barorreflexo (Grimm e colaboradores, 1998), diminuição do retorno venoso e alterações no diâmetro das cavidades cardíacas (Huonker e colaboradores, 1998).

Em casos de LM acima de T6, o indivíduo altera o controle simpático para o coração, uma vez que a inervação simpática emerge dos nervos espinhais de T1 a T5. Já a inervação parassimpática do coração origina no núcleo dorsal motor e medula oblonga, mantendo-se assim preservada.

As severidades dessas disfunções irão depender do nível e da extensão da LM

(krassioukov, 2009; Figoni, Kiratli e Sasaki, 2004; Van Stee, 1978).

Ambos os sistemas, simpático e parassimpático, são ramificações do sistema nervoso autônomo (SNA) e suas atividades no coração estão vinculadas a capacidade desse órgão de se adaptar a diferentes demandas fisiológicas (Rimaud e colaboradores, 2012; Vanderlei e colaboradores, 2009; Aubert, Seps e Beckers, 2003).

Essa modulação cardíaca ocorre em resposta a diferentes estímulos como mudança de postura, exercício físico e estresse e tem sido analisada através de parâmetros relacionados a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (Task Force, 1996).

Este método não invasivo e confiável, avalia as oscilações simpáticas e parassimpáticas do coração em condições fisiológicas e patológicas (Günther, Witte e Hoyer, 2010; Claydon e Krassioukov, 2008) sendo, portanto, fonte de informações clínicas e importante preditor de mortalidade (Tobaldini e colaboradores, 2013).

De fato, estudos têm identificado que o aumento da VFC e aumento do tônus vagal no repouso estão associados com um controle autonômico eficaz e diminuição da incidência de doenças cardiovasculares (Kleiger e colaboradores, 1987).

Alguns estudos têm identificado que indivíduos com LM apresentam diminuição da VFC no repouso (Agiouvasitis e colaboradores, 2010; Claydon e Krassioukov, 2008; Ditor e colaboradores, 2005b) e após a realização de um exercício físico (Abreu e colaboradores, 2016a).

O exercício físico agudo constitui para o organismo um estresse fisiológico devido ao aumento da demanda energética comparado ao repouso. Além disso, promove mudanças no SNA como tentativa de manutenção das funções do corpo e melhora do desempenho (Aubert, Seps e Beckers, 2003).

Já o exercício físico crônico induz a adaptações no sistema cardiovascular, como mudança do equilíbrio simpato-vagal, com predomínio parassimpático no repouso, mudanças na VFC, da variabilidade da pressão arterial e sensibilidade barorreflexa (Aubert, Seps e Beckers, 2003).

Em indivíduos com LM, a prática regular do exercício físico pode ser uma importante intervenção capaz de amenizar as alterações na VFC em decorrência da própria fisiopatologia e que podem ser agravadas pelo

sedentarismo (Buker, Oyarce e Plaza, 2018; Zamunér e colaboradores, 2013).

De fato, estudos têm demonstrado que o aumento da VFC pode ocorrer em reposta ao exercício físico decorrente de adaptações neurais, hormonais, metabólicas, estruturais e bioquímicas (Buker, Oyarce e Plaza, 2018; Aubert, Seps e Beckers, 2003).

Nesse sentido, o treinamento físico pode aumentar a atividade vagal em repouso dessa população, independente do comprometimento da via simpática (Buker, Oyarce e Plaza, 2018).

Apesar de estudos identificarem uma melhora na VFC com o exercício físico (Raffin e colaboradores, 2019; Aubert, Seps e Beckers, 2003; Buchheit e colaboradores, 2005) poucos estudos investigaram essas adaptações no indivíduo com LM. Há também na literatura, uma escassez de artigos de revisão sobre a relação entre LM, VFC e exercício físico, o que dificulta o entendimento sobre o assunto.

Diante desse cenário, o objetivo do presente estudo foi apresentar, através de revisão de literatura, o comportamento da VFC em indivíduos com LM em resposta ao exercício físico agudo e crônico, contribuindo assim para o entendimento e desenvolvimento das futuras investigações científicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Busca nas bases de dados

A revisão sistemática foi desenvolvida por meio da pesquisa de artigos nas bases de dados eletrônicas: PubMed (Public Medline), Web of Science, BVS (Biblioteca Virtual em Saúde) e Scielo (Scientific Electronic Library On Line).

Foram utilizados os seguintes descritores na língua portuguesa: lesão medular, variabilidade da frequência cardíaca e exercício físico.

E os descritores na língua inglesa foram: spinal cord injury, heart rate variability e

physical exercise, ligados pelo operador booleano AND.

Foram selecionados artigos publicados até março de 2020.

Critérios de elegibilidade e processo de seleção

Os critérios de elegibilidade foram: estudo experimental, estar publicado no idioma português e/ou inglês e ter como foco a relação entre a análise da VFC e o exercício físico agudo e crônico em indivíduos com LM.

Foram excluídos estudos de caso, revisões de literatura, artigos em que os voluntários utilizaram betabloqueadores e aqueles que não atenderam os critérios de inclusão.

Dois avaliadores (RA e TM) selecionaram os estudos de forma independente com base nos títulos, excluindo aqueles que não estavam relacionados com o tema da revisão.

Após essa seleção, os avaliadores analisaram os resumos dos artigos selecionados para identificar aqueles que atendiam aos critérios de inclusão e, na sequência, os estudos incluídos foram analisados na íntegra por meio de roteiro estruturado com a contemplação dos seguintes itens: autor/ano, objetivo, amostra, instrumentos, desfechos avaliados, desenho do estudo, exercícios e principais resultados.

A Figura 1 representa a seleção dos artigos incluídos na revisão.

RESULTADOS

A pesquisa inicialmente resultou em 109 artigos, sendo que após a seleção (Figura 1), 12 artigos foram selecionados para o quadro sinóptico.

Desses artigos, 9 (75,0%) são experimentais (experimental e quase experimental), 2 (16,6%) transversais e 1 (8,3%) longitudinal.

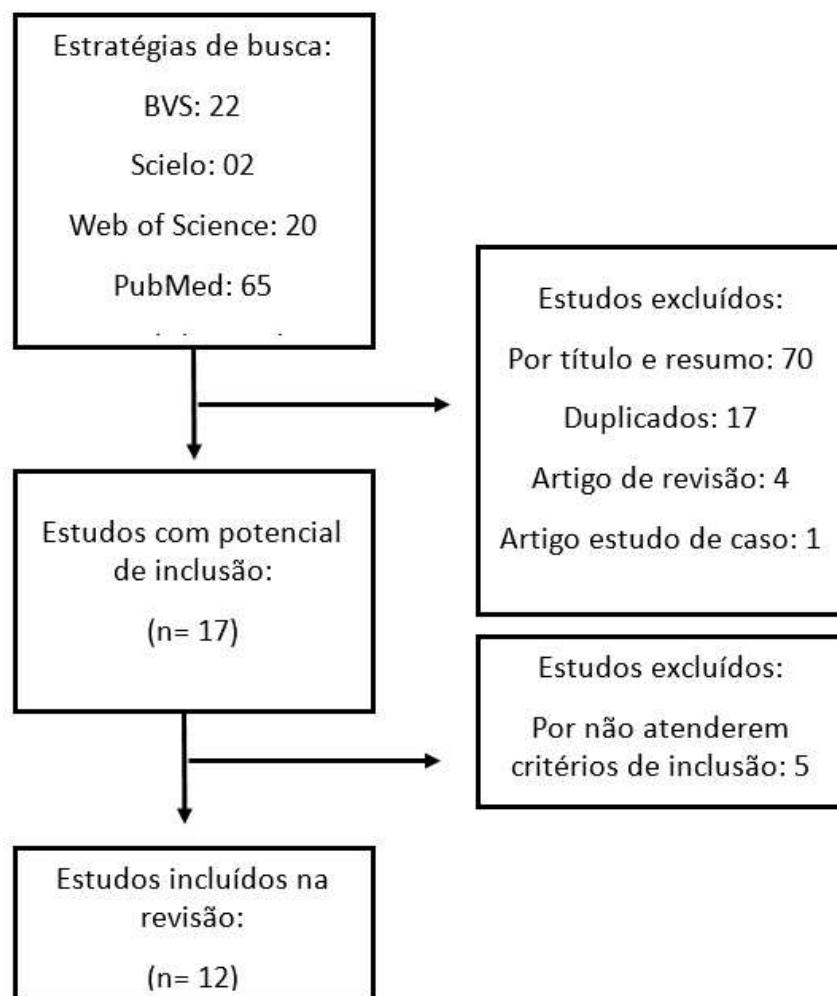


Figura 1 - Fluxograma da seleção dos estudos incluídos na revisão.

Classificação dos voluntários - nível da lesão medular

Os artigos apresentaram um total de 307 voluntários, desses 38 (12,38%) eram tetraplégicos (TETRA), 124 (40,39%) paraplégicos (PARA), 141 (45,93%) sem lesão medular (SLM) e 4 (1,30%) não diferenciados em TETRA ou PARA (Figura 2).

O estudo de Santos e colaboradores (2011) separou os grupos de LM em acima e abaixo de T6.

Sabe-se que para ser classificado como PARA é preciso ter uma LM do nível T2 para baixo, sendo assim, os voluntários com LM abaixo de T6 foram incluídos no grupo de paraplégico. Já os voluntários acima de T6 (n = 4), como não discriminado se são tetraplégicos ou paraplégicos, eles foram incluídos em LM não diferenciados.

Classificação dos voluntários - ativos ou sedentários

Para a classificação dos voluntários em ativos ou sedentários, dos artigos selecionados, eles foram divididos em 4 grupos e 3 subgrupos.

Os grupos foram divididos em TETRA, PARA, LM (não diferenciam os voluntários em TETRA ou PARA) e SLM.

Já os subgrupos foram divididos em ativos, sedentários e não especificados.

O grupo TETRA foi formado por 38 voluntários, sendo 17 ativos, 8 sedentários e 13 não especificado.

O grupo PARA foi composto por 124 voluntários, no qual 30 eram ativos, 10 sedentários e 84 não especificado.

O grupo LM foi composto por 4 voluntários, desses os 4 ativos.

Já o SLM foi constituído por 141 voluntários, sendo 41 ativos, 22 sedentários e 78 não especificado.

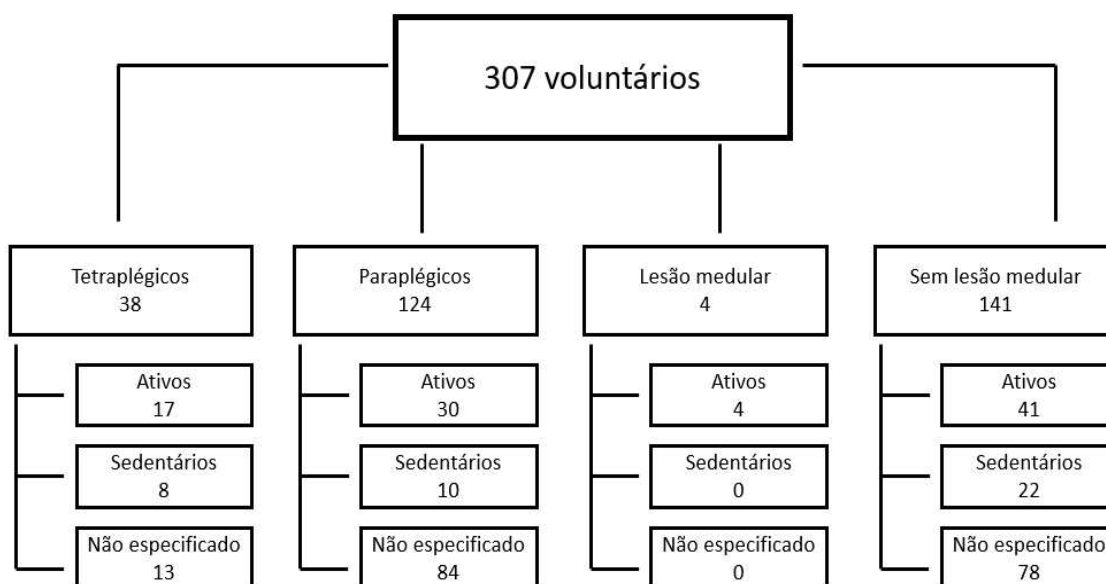


Figura 2 - Quantidade de voluntários ativos ou sedentários na seleção dos estudos incluídos na revisão

Na Tabela 1 pode-se encontrar os resultados dos artigos selecionados nesta revisão. As informações dos artigos foram resumidas em autor/ano, objetivo, amostra, método e principais resultados.

Dos 12 estudos analisados, 7 (58,33%) utilizaram em seus métodos a intervenção crônica do exercício físico e 5 (41,67%) analisaram o efeito agudo do exercício físico no comportamento da VFC em indivíduos com LM.

Em relação ao comportamento da VFC frente aos efeitos do exercício agudo observa-se diminuição da atividade parassimpática e aumento da atividade simpática dos indivíduos com LM nos estudos de Abreu e colaboradores, 2016a; Santos e

colaboradores, 2011; Agiovlasis e colaboradores, 2010; Castiglioni e colaboradores, 2007; e Takahashi e colaboradores, 2007.

E ao analisar o efeito crônico do exercício físico no comportamento da VFC de indivíduos com LM observa-se que não houve diferença estatística nos estudos que realizaram intervenções pontuais com duração menor que 4 meses de treinamento físico (Abreu e colaboradores, 2016b; Ditor e colaboradores, 2005a).

Porém, observa-se diferenças estatísticas nos estudos com maior duração de treinamento (Ditor e colaboradores 2005b; Zamunér e colaboradores, 2013; Martins e colaboradores, 2018).

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

Quadro 1 - Dados sinópticos dos estudos selecionados.

Autor (es) / Ano	Amostra	Método				Principais resultados	
		Instrumentos	Desfechos avaliados	Desenho do estudo	Exercícios		
					Modalidade		Agudo / Crônico
Ditor, 2005 - A	(n = 66) Nível lesão = 3 PARA (AIS A), 3 TETRA (AIS B) Sexo = 4M / 2F Idade = 37,77±15,4	FC - monitor cardíaco Polar HR (Finapres) (Colsona, 2300, Madison, WI, EUA) Esteira especializada, aparelho TEPC (Woodway USA Inc., Foster, CT, EUA)	FC LF HF LF/HF	2 procedimentos de testes separados em dois momentos: linha de base e após 4 meses de TEPC. TEPC 3X semana, por 4 meses.	TEPC	Crônico (4 meses)	↔ FC, LF, HF, LF/HF
Ditor, 2005 - B	(n = 8) Nível da lesão = 8 TETRA (7 AIS C e 1 AIS D) Sexo = 6M / 2F Idade = 27,6±5,2	VFC - monitor cardíaco Polar HR (Colsona 2300, Madison, WI)	LF HF LF/HF	Registro de FC (10 minutos): 1) repouso supino e 2) estresse ortostático (inclinação de 60° na cabeça) antes e após 6 meses de TEPC.	TEPC	Crônico (3x semana / 6 meses)	↓ razão LF/HF em repouso (supino) após 6 meses de TEPC. ↓ LF em repouso (supino).
Castiglioni, 2007	(n = 66) Nível lesão = 33 PARA (20 AIS A, 13 incompleta) e 33 SLM Idade = LM 33,8±7,4 SLM 32,8±8,1	VFC - eletrocardiograma V5 unipolar Exercício leve dos MMSS - ergômetro de braço (Monark 881)	SD LF HF LF/HF	ECG foi registrado em cada indivíduo por 10 min em 3 condições: 1) repouso na posição de supino, 2) sentado na cadeira de rodas, 3) exercício leve de braço (5 - 10W).	Cicloergômetro.	Agudo	Comparação entre grupos ↔ SD, HF, LF/HF ↓ LF PARA durante o exercício
Takahashi, 2007	(n = 15)	CVM - dinamômetro portátil Microfet.	LF, ms ² HF, ms ²	Avaliação antes, durante e após o exercício.	Contração isométrica de braço	Agudo	↓ LF pós exercício SLM ↓ HF pico exercício TETRA e SLM
	Nível da lesão = 8 TETRA (AIS A) e 9 SLM Sexo = 15M / 0F Idade = TETRA 35,7± 3,2 SLM 33,8 ± 2,2	(Hogan, Health Industries, Draper, UT) VFC - Rotanex ou Einometer (Finapres Medical Systems, Amsterdã, Holanda)	LF/Total, % HF/Total, % FC	35% da CVM dos flexores do cotovelo o até a exaustão.			↓ HF/ total pico exercício TETRA e SLM ↑ FC pico exercício TETRA e SLM Comparação entre grupos ↔ HF, LF/Total, HF/Total e FC ↓ LF/total TETRA pós do exercício
Muller, 2009	(n = 7) Nível lesão = 2 TETRA (1 AIS A e 1 AIS C); 5 PARA (1 AIS A, 1 AIS B, 3 AIS C) Sexo = 6M / 1F Idade = 37,1 ± 7,7	FC - eletrocardiografia de cabeça única VFC - realizada com o auxílio do Kubios HRV Analysis Software 2.0	RMSD pNN50% LF HF LF/HF	Cross-over randomizado Cada período de treinamento: 3x semana, por 4 semanas (total = 12 sessões de TEPC ou HUTT). A FC avaliada em repouso, antes e depois, a cada período de treinamento.	TEPC + HUTT	Crônico (3x semana / 4 semanas)	↔ RMSD, pNN50%, LF, HF, LF/HF Tendência: ↑ HF ↓ LF
Aguiar, 2010	(n = 40) Nível da lesão = 20 PARAA (AIS não avaliado); 20 SLMA Sexo = LMA: 11M / 9F SLMA: 12M / 8F Idade = LM 22,2±3,1 SLM 25,8±4,0	VFC - eletrocardiograma configuração CM5 modificada (Biopac Systems) Força manual máx. - Dinamômetro eletrônico (TSD21C, BioPac Systems, Goleta, CA)	LF HF LF/HF Entropia da amostra	A VFC foi avaliada durante 3 minutos de repouso e 2 minutos de exercício estático de preensão manual a 30% da força isométrica máxima.	Contração isométrica de preensão manual.	Agudo	Comparação entre grupos ↔ LF, HF, LF/HF Entropia da amostra < PARA em repouso e durante exercício
Santos, 2011	(n = 24) Nível da lesão = 7LM A 4 acima de T6 e 3 abaixo de T6 (5 AIS A, 2 incompleta), 8 SLMS e 9 SLMA	VFC - monitor cardíaco de pulso (Polar S810i, Polar Electro, OYR, Kempele, Finlândia) TPMS - cicloergômetro adaptado para membros superiores	SD1 LVFC3ms (W, bpm, %Wmax, %ECmax) LVFC1ms (W, bpm, %Wmax, %ECmax) ECmax	VFC repouso: 5 min deitados Teste TPMS - incremento de 17W a cada dois minutos até exaustão. A FC foi monitorada batimento a batimento	Cicloergômetro.	Agudo	Comparação entre grupos ↔ ECmax LVFC3ms (W, bpm, %Wmax, %ECmax) ↑ SD1 SLMS (repouso e 30% da Wmax) comparado com SLMA

	Sexo = 24M / 0F Idade = LMA 24,8±1,8 SLMS 24,1±1,8 SLMA 22,6±1,4	(Monark, Estocolmo, Suécia)		durante todo o teste incremental.			↑ LVFC1ms, em carga absoluta (W), no grupo SLMA comparado com LMA.
Zamuner, 2013	(n = 22) Nível de lesão = 12 PARA (7A e 5S) AIS A e 10 SLMS Sexo = 22M / 0F Idade = SLMS 32,10±11,02 PARAS 36,00±9,27 PARAA 32,43±10,29	Monitor de FC (Polar Advanced): Cinto transmissor (Polar Electro)	RMSSD RMSM pNN50 LF HF Entropia de Shannon Análise simbólica	A FC e os intervalos R-R foram coletados por um período de 15 min, enquanto os participantes permaneceram em uma postura sentada e respiraram espontaneamente.	Basquete	Crônico	RMSSD, RMSM, pNN50 ↔ LF e LF/HF < PARA A HF > PARA A Entropia de Shannon e análises de entropia condicional corrigida < PARA S
Serra-Aôô, 2015	(n = 78) Nível lesão = 42 LM T2-T12 (22 acima de T8 e 20 abaixo de T8) (AIS A e B) 38 SLM Sexo = SLM 89,4% M; LM 83,3% M Idade = LM 46,83±13,68 SLM 41,58±12,33	VFC - monitor de frequência cardíaca 16 (Suunto Qx, Vantaa, Finlândia, 1000 Hz)	Domínio do tempo MEANRR; SDNN; MEANHR; SDHR; RMSSD; NN50; pNN50 Domínio a frequência VLF; LF; HF; total poder do espectro Análise não linear SD1; SD2; DFA1; DFA2; entropia da amostra	A VFC foi registrada após um período de adaptação de 10min. Registro de VFC por 15min (voluntários sentados).	Atividade física ou esportes regulares	Crônico (≥ 3h por semana)	Comparação entre grupos Domínio do tempo < SDNN e RMSSD em LM < MEANRR; MEANHR; SDHR; NN50; pNN50 Domínio a frequência < VLF e LF em LM < HF Análise não linear < SD1 e SD2 em LM < DFA1, DFA2 e entropia da amostra
Abreu 2018 - A	(n = 15) Nível lesão = 7 TETRA (3A e 4S) (AIS A 71,4%); 8 SLM (4A e 4S) Sexo = 15M / 0F Idade = LM 28,0±8,97 SLM 25,0±7,38	VFC - monitor cardíaco (Polar® RS800CX) Teste - handbike (Handbike)	RR SDNN RMSSD pNN50 LF (ms ² / 0,4) HF (ms ² / 0,4) LF/HF SD1 SD2 Entropia da amostra	Coleta VFC - Duração de 7 min de coleta antes e imediatamente depois do teste. Teste: SLM - 20 min sem intervalos LM - 20 min com 3 intervalos de 2 min (4 blocos de 5 min de treino).	Handcycle	Agudo	Pós treino LM: ↓ RR, SDNN, RMSSD, LF, HF, SD1 e SD2 SLM: ↓ RR, RMSSD, pNN50, LF, HF, SD1 e entropia de amostra Comparação entre grupos Pré-treino: LM: < pNN50, LF, HF e entropia da amostra Pós treino: LM: > SDNN, LF, HF e SD2
Abreu 2016 - B	(n = 6) Nível da lesão = 6 PARAS (4 AIS A, 1 AIS C e 1 AIS D) Sexo = 5M / 1F Idade = 31,50 ± 7,68	Monitor cardíaco (polar RS800CX)	RR SDNN RMSSD pNN50 LF HF LF/HF	A coleta da VFC foi realizada durante 7 min, precedidos de pelo menos 2 min de repouso. Indivíduos foram avaliados antes e após o período de treinamento (3 meses).	Canoagem	Crônico (3 meses)	↔ antes e após o treinamento Tendência: ↑ RR, SDNN, RMSSD, pNN50, LF (ms ²), HF (ms ²), SD1, SD2 e SampEn. ↓ HF e LF/HF
Martins 2018	(n = 20) Nível lesão = 8 TETRAA (lesão incompleta) 4 TETRAS (Lesão incompleta) 8 SLMA Sexo = 20M / 0F Idade = LMA 32,3±4,5 LMS 30,8±5,3 SLMA 28,3±4,5	VFC - ECG (CONTEC, modelo 8000D)	R-R SDNN NN50 pNN50 RMSSD LF (ms ² / 0,4) HF (ms ² / 0,4) LF/HF	Coleta VFC - 10 min de ECG, gravados em repouso após 15 min na posição sentada. SLMA: envolvidos em treinamento de força 3x na semana e treinamento aeróbico 1x na semana. LMA: praticantes de rugby de cadeira de rodas	LM: rugby, treinamento de força e aeróbico	Crônico	Comparação entre grupos de cadeira de rodas e exercício de resistência SLM: treinamento de força e aeróbico SLMA: ↑ RR, HF, NN50, pNN50, RMSSD (comparado com LMA e LMS) < SDNN LMA comparado com SLMA < LF (ms ² / 0,4)

Legenda: < menor / > maior ; ↑ aumento / ↓ decréscimo / ↔ sem alterações durante o experimento ou sem diferenças estatísticas / A = Ativo / AIS A = ASIA Impairment Scale / CSNA = atividade nervosa simpática cardíaca / CVM = Contração isométrica voluntária máxima / CVNA = atividade do nervo eferente vagal cardíaco / DFA = Detrended Fluctuation Analysis/ ECG = Eletrocardiograma / ESP = espirometria / F = Feminino / FC = Frequência cardíaca / HF - alta frequência / HUTT = treinamento com inclinação da cabeça para cima, do inglês *head-up tilt training* / LFnu = baixa frequência normalizada / LM = lesão medular / LMA = Lesado medular ativo / LMC = lesão medular completa / LMS = Lesado medular sedentário / LVFC = Limiar de Variabilidade da frequência cardíaca / M = Masculino / MAN = manovacuometria / MMSS = Membros superiores / NN50 = número de diferenças de intervalos de intervalos NN sucessivos superiores a 50ms / PA = Pressão arterial / PAD = Pressão arterial diastólica / PAM = Pressão arterial média / PAS = Pressão arterial sistólica / PARA = Paraplégico / pNN50 = porcentagem de intervalos R-R normais maiores que 50 ms / RFC = Recuperação da frequência cardíaca / rMSSD = raiz quadrada média das diferenças quadráticas médias dos intervalos RR sucessivos / R-R = / S = Sedentário / SD1 = desvio padrão imediato / SDNN = desvio padrão de intervalos R-R normais sucessivos / SLM = Sem lesão medular / SLMA = Sem lesão medular ativo / SLMS = Sem lesão medular sedentário / TEPC = treinamento em esteira com peso corporal / TETRA = Tetraplégico / TPMS = teste progressivo máximo em ciclo ergômetro de membros superiores / VFC = Variabilidade da frequência cardíaca / VMS = velocidade média do sangue / VPA = Variabilidade da pressão arterial. Razão LF/HF / PT = potência total / ms2 = unidades absolutas / n.u = normalizadas / transformadas logarítmicas naturais (ln ms2).

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi apresentar, através de revisão de literatura, o comportamento da VFC em indivíduos com LM em resposta ao exercício físico agudo e crônico.

Sabe-se que a VFC é um indicativo de funcionalidade e eficiência do sistema cardiovascular, assim entender o comportamento da VFC em indivíduos com LM, submetidos ao exercício físico, pode ser fundamental para melhorar a qualidade de vida e minimizar a incidência de óbitos por doenças cardiovasculares nessa população.

A VFC pode ser verificada através das análises lineares realizadas no domínio do tempo e da frequência.

Na análise do domínio do tempo são obtidos dados como: média do desvio padrão dos intervalos R-R do eletrocardiograma (SDNN) e a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre os intervalos R-R (rMSSD).

O SDNN é indicador da VFC, porém não é possível distinguir se houve aumento da via simpática ou diminuição da via parassimpática.

E o parâmetro rMSSD é indicador da modulação do sistema nervoso parassimpático. Já a análise efetuada no domínio da frequência resulta nos seguintes componentes: alta frequência (HF, do inglês high frequency), baixa frequência (LF, do inglês low frequency - LF) e a relação LF/HF (do inglês, ratio low frequency/high frequency) (Task Force, 1996; Vanderlei e colaboradores, 2009).

A HF reflete o componente vagal e a LF o componente que é influenciado pelo simpático e parassimpático, no entanto, com predominância simpática. Já a relação LF/HF representa o balanço simpato-vagal (Task Force, 1996; Vanderlei e colaboradores, 2009).

Métodos não lineares também são utilizados para análise da VFC, de acordo com movimentos complexos do coração e estão associados ao comportamento orgânico ligado ao comando central, periférico e humoral (Vanderlei e colaboradores, 2009).

As pesquisas selecionadas mostraram que ainda existe escassez de dados científicos acerca dessa temática e que os resultados ainda são contraditórios.

Para facilitar a discussão dos resultados, os dados da VFC foram discutidos

em 3 momentos: no repouso, com intervenção aguda e com intervenção crônica de exercício físico.

Em relação as comparações dos dados da VFC em repouso foram encontradas diferenças nos estudos de Abreu e colaboradores (2016a) e Agiovlasitis e colaboradores (2010).

No estudo de Abreu e colaboradores (2016a), os indivíduos com LM apresentaram menor pNN50 (indicador da modulação do sistema nervoso parassimpático), LF, HF e entropia da amostra comparado ao grupo controle, SLM.

Já no estudo de Agiovlasitis e colaboradores (2010), observaram uma redução somente na variável entropia da amostra. Evidenciando, nesses estudos, uma disfunção autonômica nessa população.

Nos estudos que realizaram intervenções agudas de exercício físico, observou-se que o comportamento da VFC se mantém na transição do repouso para o exercício físico, com diminuição da atividade parassimpática e aumento da atividade simpática (Abreu e colaboradores, 2016; Santos e colaboradores, 2011; Agiovlasitis e colaboradores, 2010; Castiglioni e colaboradores, 2007; Takahashi e colaboradores, 2007).

No entanto, alguns autores identificam que apesar da modulação estar preservada, indivíduos tetraplégicos apresentam uma menor eficiência no tempo de reposta dessa modulação da VFC na transição do repouso para o exercício físico e na recuperação.

De fato, no estudo de Takahashi e colaboradores (2007), os autores identificaram um atraso no aumento da FC de tetraplégicos quando submetidos a um exercício a 35% da contração isométrica voluntária máxima (CVM) e um atraso na diminuição da FC após o exercício físico.

Abreu e colaboradores (2016a) também observaram, em tetraplégicos, um atraso na recuperação do sistema cardiovascular após o exercício físico.

No grupo controle, SLM, apenas o intervalo R-R permaneceu elevado após o exercício realizado em handcycle. Já no grupo LM, as variáveis pN50, LF, HF e a entropia da amostra permaneceram elevadas após o exercício físico.

Por outro lado, no estudo de Santos e colaboradores (2011) foi identificado menor limiar de transição da atividade parassimpática para a simpática durante exercício físico

progressivo realizado em cicloergometro, demonstrando assim um aumento simpático precoce no grupo paraplégico.

Segundo os autores, esse aumento precoce da atividade simpática pode ser decorrente de uma diminuição no retorno venoso, e conseqüentemente, no volume sistólico de indivíduos com LM.

Nota-se, portanto, que indivíduos com LM preservam a VFC no repouso, no entanto, apresentam alguns déficits na capacidade de ajuste cardiovasculares quando são submetidos a sobrecarga imposta pelo exercício físico.

No entanto, como existe uma grande diversidade de protocolos de exercício físico entre os estudos, a análise conjunta dos dados se mostra comprometida, necessitando assim de mais investigações na área.

Em relação aos artigos com intervenções crônicas observa-se que em alguns estudos, os indivíduos com LM foram submetidos a protocolos com duração de treinamento variando entre 4 semanas (Millar e colaboradores, 2009) e 6 meses (Ditor e colaboradores, 2005b).

Já, em outros estudos, indivíduos foram classificados em treinados ou sedentários com base nas atividades realizadas no cotidiano (Zamunér e colaboradores 2013; Martins e colaboradores, 2018; Serra-Añó e colaboradores, 2015).

De uma forma geral, observa-se que os estudos que realizaram intervenções pontuais com duração menor de 4 meses de treinamento físico não encontraram diferenças na VFC, independentemente do tipo, duração e intensidade do exercício físico (Abreu e colaboradores, 2016b; Ditor e colaboradores, 2005a; Millar e colaboradores, 2009).

Diferenças foram observadas no estudo de Ditor e colaboradores (2005b), que teve a maior duração no protocolo de treinamento. Esses autores submeteram indivíduos tetraplégico a TEPC por 6 meses e observaram diminuição da variável LF e da relação LF/HF no repouso. Com base nessa análise é possível concluir que as adaptações na VFC acontecem a longo prazo, sendo assim observadas apenas em sujeitos que são submetidos a protocolos de treinamento físico por longo tempo.

Tais achados, corrobora com a revisão sistemática de Buker, Oyarce e Plaza, (2018) que demonstraram melhora da modulação do SNA no coração de indivíduos com LM praticantes de exercício físico.

No entanto, cada autor utiliza um critério diferente para classificar os sujeitos em sedentários e treinados, sendo assim não é possível concluir quais seriam os parâmetros de treinamento físico mais adequados para desencadear adaptações na VFC.

Nos artigos é possível identificar que o treinamento físico induz a adaptações no domínio do tempo e no domínio da frequência.

Diferenças no domínio da frequência foram identificadas nos estudos de Zamunér e colaboradores (2013), Ditor e colaboradores (2005b), Serra-Añó e colaboradores (2015) e Martins e colaboradores (2018), sendo principalmente identificado diminuição da variável LF e razão LF/HF com o treinamento físico

Alterações no domínio do tempo também foram observadas em alguns estudos, como diminuição no SDNN (Martins e colaboradores, 2018; Serra-Añó e colaboradores, 2015).

O componente SDNN é um indicador da VFC, porém não é possível distinguir se houve aumento da modulação simpática ou diminuição da via parassimpática.

De uma forma geral, observa-se que os indivíduos com LM submetidos ao exercício físico agudo, há uma modulação da VFC com uma diminuição da atividade parassimpática e aumento da atividade simpática. J

á em relação a adaptação da VFC com o exercício físico crônico, a maioria dos estudos não encontrou diferenças significativas, porém observa-se uma modulação da VFC com o exercício físico superior a 6 meses.

No entanto, nota-se que os estudos acerca do exercício físico agudo e crônico e VFC em indivíduos com LM ainda são escassos e inconclusivos.

Sendo assim, torna-se relevante a realização de mais pesquisas científicas na área para esclarecer a relação entre essas variáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEPE (Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício); o Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte; Programa Pesquisa de Produtividade da Estácio BH; CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CEMSA (Centro Multidisciplinar em Sonolência e Acidentes).

DECLARAÇÃO DE INTERESSES CONFLITANTES

Os autores relatam não haver conflitos de interesse

REFERÊNCIAS

- 1-Abreu, E.M.C.; Alves, R.S.; Borges, A.C.L.; Lima, F.P.S.; Paula Júnior, A.R.; Lima, M.O. Autonomic cardiovascular control recovery in quadriplegics after handcycle training. *Journal of Physical Therapy Science*. Vol.28. Num. 7. 2016a. p. 2063-2068.
- 2-Abreu, E.M.C; Alves, R.S.; Pereira, L.O.; Lima, F.P.S.; Júnior, A.R.P. Lima, M.O. Efeitos da canoagem adaptada sobre o sistema cardiopulmonar de paraplégicos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 22. Num. 5. 2016b. p. 386-392.
- 3-Agiouvlasis, S.; Heffernan, K.S.; Jae, S.Y.; Ranadive, S.M.; Lee, M.; Mojtahedi, M.C.; Fernhall, B. Effects of paraplegia on cardiac autonomic regulation during static exercise. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. Vol. 89. Num. 10. 2010. p. 817-823.
- 4-Aubert, A.E.; Seps, B.; Beckers, F. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Medicine*. Vol. 33. Num.12. 2003. p. 889-919.
- 5-Buchheit, M., Simon, C.; Charloux, a.; Doutreleau, S.; Piquard, F.; Brandenberger, G. Heart rate variability and intensity of habitual physical activity in middle-aged persons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol. 37. Num. 9. 2005. p. 1530-1534.
- 6-Buker, D.B.; Oyarce, C.C.; Plaza, R.S. Effects of Spinal Cord Injury in Heart Rate Variability After Acute and Chronic Exercise: A Systematic Review. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*. Vol. 24. Num. 2. 2018. p. 167-176.
- 7-Caldeira, J.B.; Sancho, A.G.; Manoel, F.; Rosa, J.S. Avaliação da função autonômica cardiovascular em portadores de lesão medular submetidos à variabilidade da frequência cardíaca. *Motricidade*. Vol. 9. Num. 2. 2013. p. 37-49.
- 8-Castiglioni, P.; Di Rienzo, M.; Veicsteinas, A.; Parati, G.; Merati G. Mechanisms of blood pressure and heart rate variability: an insight from low-level paraplegia. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. Vol. 292. Num. 4. 2007. p. 1502-1509.
- 9-Claydon, V.E.; Krassioukov, A.V. Clinical correlates of frequency analyses of cardiovascular control after spinal cord injury. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. Vol. 294. 2008. p. 668-678.
- 10-DeVivo, M.J.; Black, K.J.; Stover, S.L. Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Vol. 74. Num. 3. 1993. p. 248-254.
- 11-Ditor, D.S.; Kamath, M.V.; MacDonald, M.J.; Bugaresti, J.; McCartney, N.; Hicks, A.L. Effects of body weight-supported treadmill training on heart rate variability and blood pressure variability in individuals with spinal cord injury. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 98. 2005b. p. 1519-1525.
- 12-Ditor, D.S.; Macdonald, M.J.; Kamath, M.V.; Bugaresti, J.; Adams, M.; McCartney, N.; Hicks, A.L. The effects of body weight supported treadmill training on cardiovascular regulation in individuals with motor-complete SCI. *Spinal Cord*. Vol. 43. Num. 11. 2005a. p. 664-673.
- 13-Figoni, S.F.; Kiratli, J.; Sasaki, R. Disfunção da Medula Espinhal. IN *Acsm, A.C.O.S.M. Pesquisas do ACSM para a Fisiologia do Exercício Clínico: Afecções Musculoesqueléticas, Neuromusculares, Neoplásicas, Imunológicas e Hematológicas*. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. 2004. p. 54-76.
- 14-Ginis, K.A.; Hicks, A.L. Exercise research issues in the spinal cord injured population. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Vol. 33. Num. 1. 2005. p. 49-53.
- 15-Grimm, D.R.; Almenoff, P.L.; Bauman, W.A.; De Meersman, R.E. Baroreceptor sensitivity response to phase IV of the Valsalva

maneuver in spinal cord injury. *Clinical Autonomic Research*. Vol. 8. Num. 2. 1998. p. 111-118.

16-Günther, A.; Witte, O.W.; Hoyer, D. Autonomic Dysfunction and Risk Stratification Assessed from Heart Rate Pattern. *Open Neurology Journal*. Vol. 4. 2010. p. 39-49.

17-Huonker, M.; Schmid, A.; Sorichter, S.; Schmidt-Trucksäb, A.; Mrosek, P.; Keul J. Cardiovascular differences between sedentary and wheelchair-trained subjects with paraplegia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol. 30. Num. 4. 1998. p. 609-613.

18-Kleiger, R.E.; Miller, J.P.; Bigger, J.T.; Moss, A.J. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*. Vol. 59. Num. 4. 1987. p. 256-262.

19-Krassioukov, A. Autonomic function following cervical spinal cord injury. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. Vol. 169. Num. 2. 2009. p. 157-164.

20-Krassioukov, A.; Claydon, V.E. The clinical problems in cardiovascular control following spinal cord injury: an overview. *Progress in Brain Research*. Vol. 152. 2006. p. 223-229.

21-Martins, E.W.; Magalhães, R.; Marocolo, M.; Maior, A. S. Cardiac autonomic profile in cervical spinal cord injury subjects' practitioners of the physical exercise. *Health Sciences*. Vol. 40. 2018. p. 1-8.

22-Millar, P.J.; Rakobowchuk, M.; Adams, M.M.; Hicks, A.L.; McCartney, N.; MacDonald MJ. Effects of short-term training on heart rate dynamics in individuals with spinal cord injury. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. Vol. 150. 2009. p. 116-121.

23-Raffin, J.; Barthélémy, J.C.; Dupré, C.; Pichot, V.; Berger, M.; Féasson, L.; Busso, T.; da Costa, A.; Colvez, A.; Montuy-Coquard, C.; Bouvier, R.; Bongue, B.; Roche, F.; Hupin, D. Exercise Frequency Determines Heart Rate Variability Gains in Older People: A Meta-Analysis and Meta-Regression. *Sports Med*. Vol. 49. Num. 5. 2019. p. 719-729.

24-Rimaud, D.; Calmels, P.; Pichot, V.; Bethoux, F.; Roche, F. Effects of compression

stockings on sympathetic activity and heart rate variability in individuals with spinal cord injury. *Journal of Spinal Cord Medicine*. Vol. 35. Num. 2. 2012. p. 81-88.

25-Santos, R.A.; Pires, F.O.; Bertuzzi, R.; de-Oliveira, F.R.; Lima-Silva, A.E. Modulação autonômica durante o exercício incremental com membros superiores em indivíduos com lesão medular. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 17. Num. 6. 2011. p. 409-412.

26-Serra-Añó, P.; Montesinos, L.L.; Morales, J.; López-Bueno, L.; Gomis, M.; García-Massó, X.; González, L.M. Heart rate variability in individuals with thoracic spinal cord injury. *Spinal Cord*. Vol. 53. 2015. p. 59-63.

27-Takahashi, M.; Matsukawa, K.; Nakamoto, T.; Tsuchimochi, H.; Sakaguchi, A.; Kawaguchi, K.; Onari, K. Control of heart rate variability by cardiac parasympathetic nerve activity during voluntary static exercise in humans with tetraplegia. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 103. 2007. p. 1669-1677.

28-Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. Vol. 93. 1996. p.1043-1065.

29-Tobaldini, E.; Nobili, L.; Strada, S.; Casali, K.R.; Braghiroli, A.; Montano, N. Heart rate variability in normal and pathological sleep. *Frontiers in Physiology*. Vol. 4. Num. 294. 2013. p. 1-11.

30-Van Der Scheer, J. W.; Ginis, K.A.M.; Ditor, D.S.; Goosey-Tolfrey, V.L.; Hicks, A.L.; West, C.R.; Wolfe, D.L. Effects of exercise on fitness and health of adults with spinal cord injury: a systematic review. *Neurology*, Vol. 89. Num. 7. 2017. p. 736-745.

31-Van Stee, E.W. Autonomic innervation of the heart. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 26. 1978. p. 151-158.

32-Vanderlei, L.C.M.; Pastre, C.M.; Hoshi, R.A.; Carvalho, T.D.; Godoy, M.F. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*. Vol. 24. Num. 2. 2009. p. 205-217.

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

33-Zamunér, A.R.; Silva, E.; Teodori, R.M.; Catai, A.M.; Moreno, M.A. Autonomic modulation of heart rate in paraplegic wheelchair basketball players: Linear and nonlinear analysis. *Journal of Sports Sciences*. Vol. 31. Num. 4. 2013. p. 396-404.

34-Winslow, C.; Rozovsky, J. Effect of spinal cord injury on the respiratory system. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. Vol. 82. 2003. p. 803-814.

Autor correspondente:

Andressa Silva.

andressa@demello.net.br

Universidade Federal de Minas Gerais.

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Departamento de Esporte.

Av. Antônio Carlos, 6627.

Pampulha, Belo Horizonte-MG, Brasil.

CEP: 31270-901.

Recebido para publicação em 08/09/2020

Aceito em 15/03/2021