



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Determinación del Perfil Neurovegetativo de Atletas de Alto Rendimiento de Halterofilia mediante el Análisis de la Variabilidad del Ritmo Cardíaco

María Alejandra Sastoque Hernández

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Medicina Interna
Medicina del Deporte
Bogotá, Colombia

2021

Determinación del Perfil Neurovegetativo de Atletas de Alto Rendimiento de Halterofilia mediante el Análisis de la Variabilidad del Ritmo Cardíaco

María Alejandra Sastoque Hernández

Trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Medicina del Deporte

Director (a):

Doctor Camilo Ernesto Povea Combariza

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Medicina Interna
Medicina del Deporte
Bogotá, Colombia

2021

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



María Alejandra Sastoque Hernández

Fecha 27/01/2021

Agradecimientos

Quiero agradecer al Dr. Camilo Ernesto Povea, médico del deporte, docente de la especialidad y director de mi trabajo de grado por permitirme el acceso a sus bases de datos de consultas particulares de medicina del deporte y por su asesoría en el procesamiento y análisis de la información contenida en este estudio.

Al Ministerio del Deporte y al Dr. Mauricio Serrato, coordinador del Centro de Ciencias del Deporte por brindarme la posibilidad de usar las bases de datos de la institución para extraer los datos de los atletas de levantamiento de pesas de la selección Colombia mayores usados para la realización del presente estudio y por las observaciones realizadas que enriquecieron el contenido del trabajo.

Un agradecimiento también al Dr. Jaime Albarracín, médico de la Selección Colombia mayores de levantamiento de pesas del Ministerio del Deporte por expresar su apoyo a la realización de este trabajo de grado y por haber implementado el uso del análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco dentro de la monitorización del entrenamiento de estos atletas, herramienta de la cual se extrajeron los datos analizados en el presente estudio.

Agradezco además a mis compañeros residentes de medicina del deporte, con quienes voy a tener el honor de graduarme como especialista y quienes han sido fundamentales en mi crecimiento tanto personal como profesional.

Por último, a mis padres, mi hermana y mi novio, quienes son el pilar fundamental de mi vida, mi motivación y mi orgullo. Gracias por apoyarme incondicionalmente en este camino, por ser luz en los momentos de oscuridad y por impulsarme a ser mejor cada día.

Resumen

Determinación del perfil neurovegetativo de atletas de alto rendimiento de halterofilia mediante el análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco

Objetivo y métodos: Actualmente se cuenta con información muy limitada acerca del comportamiento de la variabilidad del ritmo cardiaco (VRC) en atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas (LVP). Este es un estudio de corte retrospectivo, transversal, descriptivo observacional, con muestreo por conveniencia, en el que se buscó caracterizar el comportamiento autonómico de 8 LVP élite, en reposo y en diferentes situaciones desencadenantes de estrés fisiológico. Se compararon estos resultados con población entrenada de predominio en resistencia (ER) y población físicamente inactiva (FI), con edades, peso, talla y exposición a la altura pareadas.

Resultados: Se observó una tendencia en LVP a presentar un mayor tono parasimpático que los FI, pero menor que ER en posición supina (media de los intervalos RR, PNN50 y PSN index $p < 0.05$). En el cambio postural ortostático (CPO) y el ortostatismo (ORT) se pudo observar un viraje hacia un comportamiento autonómico de predominio simpático en LVP, aparentemente de mayor amplitud y duración que ER y FI (índice 30/15 y stress index, $p < 0,05$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables del dominio frecuencial en ninguna fase en los 3 grupos comparados.

Conclusiones: Existe una diferencia en la respuesta neurovegetativa de los LVP con respecto a los grupos comparados identificada mediante el análisis de la VRC, lo que podría tener implicaciones prácticas en la monitorización del entrenamiento. Se requiere la realización de estudios analíticos que busquen determinar si dichas diferencias son producto de adaptaciones propias del entrenamiento de estos atletas.

Palabras claves: variabilidad del ritmo cardiaco, levantamiento de pesas, cambio postural ortostático, ortostatismo, sistema nervioso simpático.

Abstract

Determination of the neurovegetative profile of high-performance weightlifting athletes with heart rate variability analysis

Objective and methods: Currently there is limited information on heart rate variability behavior (HRV) in high performance weightlifting athletes (LVP) This is a retrospective, cross-sectional, descriptive observational study, with convenience sampling, in which the autonomic behavior of 8 elite LVP was characterized, at rest and at different triggering situations of physiological stress. The results were compared with endurance-trained (ER) and physically inactive subjects (FI), matched by age, weight, height, and high-altitude exposure.

Results: LPV had a higher parasympathetic tone than FI but lower than ER in supine position (mean RR, PNN50 and PNS index $p < 0,05$). In the orthostatic postural change and orthostaticism, a shift towards an autonomic behavior of sympathetic predominance was observed in LVP, apparently of greater amplitude and duration than ER and FI (index 30/15 and stress index, $p < 0.05$). No statistically significant differences were found in frequency domain variables analyzed.

Conclusion: There is a difference in autonomic control between LVPs and the compared groups, identified by the analysis of HRV. Analytical studies are required to determine if these findings are secondary to sport-specific training adaptations.

Key words: heart rate variability, weightlifting, orthostatic postural change, orthostaticism, sympathetic nervous system.

Contenido

	Pág.
Resumen	VI
Abstract	VII
Lista de gráficas	XI
Lista de tablas	XIII
Lista abreviaturas	XV
1. Introducción	16
2. Marco teórico	19
3. Diseño de investigación	32
3.1 Objetivos.....	32
3.1.1 Objetivo general	32
3.1.2 Objetivos específicos.....	32
3.2 Tipo de estudio	33
3.3 Características de la población	33
3.3.1 Criterios de inclusión	33
3.3.2 Criterios de exclusión	34
3.4 Metodología.....	34
3.5 Análisis estadístico	37
4. Consideraciones ambientales y éticas	38
5. Resultados	39
5.1 Características de la población	39
5.2 Resultados de los valores de las variables del dominio temporal y frecuencial de la VRC en cada fase de la prueba de competencia autonómica en los LVP	40
5.2.1 Resultados de los valores de las variables de la VRC en posición supina en LVP	40
5.2.2 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y 12 ciclos por minuto en LVP.....	42
5.2.3 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del cambio postural ortostático (CPO) en LVP	45
5.2.4 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del ortostatismo (ORT) en LVP	47

5.2.5	Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa de recuperación (REC) en LVP	48
5.3	Resultados de la comparación de los valores de las variables del dominio temporal y frecuencial de la VRC en cada fase de la prueba de competencia autonómica entre los LVP, los ER y los FI.	50
5.3.1	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en supino	51
5.3.2	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto.....	54
5.3.3	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa CPO	55
5.3.4	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de ORT.....	59
5.3.5	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de realización de medias sentadillas por 45 segundos	63
5.3.6	Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en recuperación después de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos	65
6.	Discusión.....	69
6.1	Características de la población.....	69
6.2	Etapa en posición supina	70
6.2.1	Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en posición supina en LVP.....	70
6.2.2	Comparación de los valores de las variables de la VRC en supino entre LVP, ER y FI.....	70
6.3	Etapa con control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto	74
6.3.1	Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y 12 ciclos por minuto en LVP	74
6.3.2	Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI	74
6.4	Etapa del CPO	75
6.4.1	Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del CPO en LVP.....	75
6.4.2	Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del CPO entre LVP, ER y FI	76
6.5	Etapa del ORT	78
6.5.1	Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del ORT en LVP	78
6.5.2	Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del ORT entre LVP, ER y FI	79
6.6	Etapa de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos	80
6.6.1	Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos entre LVP, ER y FI.....	80
6.7	Etapa de la recuperación a partir del minuto 1, posterior a la realización de medias sentadillas	81
6.7.1	Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa de la recuperación en LVP	81
6.7.2	Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de la recuperación entre LVP, ER y FI	81

7. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones	84
7.1 Conclusiones	84
7.2 Limitaciones.....	85
7.3 Recomendaciones	87
Anexo A: Comparaciones Post Hoc con Método LSD	88
Etapa en posición supina.....	88
Etapa de CPO	89
Etapa de ORT	90
Etapa de la realización de medias sentadillas por 45 segundos	91
Etapa de recuperación a partir del primer minuto después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos	91
Bibliografía	93

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 2-1: Esquema de los mecanismos de control cardiovascular, responsables de las principales fluctuaciones periódicas de la frecuencia cardiaca	21
Gráfica 3-1: Prueba de función autonómica usada para la medición de la VRC	36
Gráfica 5-1: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en supino.	42
Gráfica 5-2: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en el CPO.	46
Gráfica 5-3: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en el ORT.	48
Gráfica 5-4: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en la recuperación y supino.	50
Gráfica 5-5: Comparación de las medias de los valores del Prom RR entre LVP, ER y FI en supino.....	52
Gráfica 5-6: Comparación de las medias de los valores de pNN50 entre LVP, ER y FI en supino.	53
Gráfica 5-7: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI en supino.....	53
Gráfica 5-8: Comparación de las medias de los valores del índice 30/15 entre LVP, ER y FI durante el CPO.	57
Gráfica 5-9: Comparación de las medias de los valores del Stress Índice entre LVP, ER y FI durante el CPO.	57
Gráfica 5-10: Comparación de las medias de los valores de la FC Máx entre LVP, ER y FI durante el CPO.	58
Gráfica 5-11: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Máx entre LVP, ER y FI durante el CPO desde la fase previa (control de la ventilación a 12 ciclos por minuto, V12).....	59
Gráfica 5-12: Comparación de las medias de los valores del Stress Índice entre LVP, ER y FI durante el ORT.....	61
Gráfica 5-13: Comparación de las medias de los valores del SNS Índice entre LVP, ER y FI durante el ORT.....	62
Gráfica 5-14: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI durante el ORT.....	62
Gráfica 5-15: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Máx entre LVP, ER y FI desde el ORT a la realización de medias sentadillas por 45 segundos (SEN).	64

Gráfica 5-16: Comparación de las medias de los valores del PNN50 entre LVP, ER y FI d en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos. 67

Gráfica 5-17: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos. .. 68

Gráfica 5-18: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Prom entre LVP, ER y FI en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos. 68

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Parámetros usados en el análisis de la VRC en el dominio temporal y sus derivados.....	22
Tabla 5-1: Características poblacionales de los grupos evaluados	39
Tabla 5-2: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en posición supino LVP.....	41
Tabla 5-3: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en posición supino en LVP	41
Tabla 5-4: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto en LVP	42
Tabla 5-5: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto en LVP	43
Tabla 5-6: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto en LVP	43
Tabla 5-7: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto en LVP	44
Tabla 5-8: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en el CPO en LVP	45
Tabla 5-9: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en el CPO en LVP	45
Tabla 5-10: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en el ORT en LVP	47
Tabla 5-11: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en el ORT en LVP.....	47
Tabla 5-12: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en recuperación en LVP	49
Tabla 5-13: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en recuperación en LVP	49
Tabla 5-14: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en posición supina entre LVP, ER y FI.	51
Tabla 5-15: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en posición supina entre LVP, ER y FI.	51
Tabla 5-16: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable pNN50 en supino	52
Tabla 5-17: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom en supino	52

Tabla 5-18: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI.	54
Tabla 5-19: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI	54
Tabla 5-20: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC durante el CPO entre LVP, ER y FI.....	55
Tabla 5-21: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC durante el CPO entre LVP, ER y FI.....	55
Tabla 5-22: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el índice 30/15 en el CPO	56
Tabla 5-23: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice en el CPO	56
Tabla 5-24: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Máx en el CPO	56
Tabla 5-25: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el delta de la FC Máx durante el CPO y la fase previa (control de la ventilación a 12 ciclos por minuto)	56
Tabla 5-26: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC durante el ORT entre LVP, ER y FI.....	59
Tabla 5-27: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC durante el ORT entre LVP, ER y FI.....	60
Tabla 5-28: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice durante el ORT	60
Tabla 5-29: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el SNS Índice máxima durante el ORT	61
Tabla 5-30: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom durante el ORT	61
Tabla 5-31: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos entre LVP, ER y FI.....	63
Tabla 5-32: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos.....	64
Tabla 5-33: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para las medias de los valores del delta de la FC Máx durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos.	64
Tabla 5-34: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en recuperación entre LVP, ER y FI.....	65
Tabla 5-35: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en recuperación entre LVP, ER y FI.....	65
Tabla 5-36: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable PNN50 en recuperación	66
Tabla 5-37: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom en recuperación	66
Tabla 5-38: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el delta de la FC Prom en recuperación	66

Lista abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>1RM</i>	Una Repetición Máxima
<i>ANOVA</i>	Análisis de Varianza
<i>CPO</i>	Cambio Postural Ortostático
<i>DS</i>	Desviación Estándar
<i>ER</i>	Entrenados en Resistencia
<i>FC Máx</i>	Frecuencia Cardíaca Máxima
<i>FC Mín</i>	Frecuencia Cardíaca Mínima
<i>FC Prom</i>	Frecuencia Cardíaca Promedio
<i>FC</i>	Frecuencia Cardíaca
<i>FI</i>	Físicamente Inactivos
<i>HF</i>	Alta Frecuencia (High Frequency)
<i>Hz</i>	Hertz
<i>LF</i>	Baja Frecuencia (Low Frequency)
<i>log</i>	Expresión Logarítmica
<i>lpm</i>	Latidos Por Minuto
<i>LPT</i>	Transductor Lineal de Posición (Linear Position Transducer)
<i>LSD</i>	Diferencias Mínimamente Significativas (Least Significant Difference)
<i>LVP</i>	Levantadores de Pesas
<i>ms</i>	Milisegundos
<i>ms²</i>	Milisegundos Al Cuadrado
<i>ns</i>	No Significativo
<i>ORT</i>	Ortostatismo
<i>pNN50</i>	Porcentaje de intervalos RR consecutivos, que discrepa más de 50 ms
<i>PNS Índice</i>	Índice Parasimpático
<i>PET</i>	Poder Espectral Total
<i>Prom RR</i>	Promedio de la medida de los intervalos RR
<i>RMSSD</i>	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR
<i>rpm</i>	Respiraciones Por Minuto
<i>RR</i>	Intervalo entre dos latidos (picos de r en el electrocardiograma)
<i>SNA</i>	Sistema Nervioso Autónomo
<i>SNP</i>	Sistema Nervioso Parasimpático
<i>SNS Índice</i>	Índice Simpático
<i>SNS</i>	Sistema Nervioso Simpático
<i>u.n</i>	Unidades Normalizadas
<i>VLf</i>	Muy Baja Frecuencia (Very Low Frequency)
<i>VRC</i>	Variabilidad del Ritmo Cardíaco

1. Introducción

En el campo del alto rendimiento es fundamental la implementación de medidas que permitan monitorizar el impacto fisiológico de los diferentes programas de entrenamiento propuestos a los atletas durante la temporada. El objetivo de esta monitorización es evaluar la eficacia de dichos programas para generar adaptaciones específicas en el deportista que le permitan mantener o aumentar el rendimiento. Del mismo modo, provee la oportunidad de comparar el impacto de un determinado tipo de entrenamiento sobre el perfil autonómico.

La adecuada comprensión de las variables monitorizadas, mediante la evaluación de su impacto con las cargas de entrenamiento, le brinda la posibilidad al médico del deporte de proponer estrategias que ayuden a individualizar el entrenamiento y a entender las complejas interacciones existentes entre las propuestas metodológicas de preparación física y competitiva y las características propias del atleta.

Una de las herramientas que ha cobrado relevancia en el proceso de monitorización del atleta es el análisis de la VRC. Este método no invasivo y reproducible permite estudiar las adaptaciones neurovegetativas generadas en el atleta como respuesta a diferentes situaciones de estrés fisiológico (como el ejercicio físico).

La presencia de estas características es indispensable en la medicina del deporte y en el campo del alto rendimiento ya que, por su fácil consecución, posibilitan el establecimiento de una línea de base del atleta y su evaluación posterior (con una adecuada estandarización de los métodos de medición). Esto permite valorar la favorabilidad de los cambios producidos por el entrenamiento hacia el surgimiento de adaptaciones positivas que impacten en su rendimiento deportivo o maladaptaciones que están produciendo sobrecarga no funcional.

Dado que existen múltiples factores que determinan el comportamiento de la VRC, su evolución puede variar dependiendo de cada disciplina deportiva y la especialización que tenga el atleta en la misma. Es por esto por lo que toma gran importancia la existencia de perfiles fisiológicos que sirvan de base conceptual para la interpretación de la VRC y que permitan la sustentación de hipótesis que expliquen la presencia de estas respuestas integradas del SNA en cada modalidad deportiva.

Actualmente se cuenta con información muy limitada acerca del comportamiento de los componentes de la VRC en atletas de alto rendimiento de levantadores de pesas, en quienes el entrenamiento de la fuerza es un factor principal. Generalmente, los estudios investigativos disponibles en el área se concentran en deportes que se basan en el trabajo de resistencia.

Los estudios existentes acerca del entrenamiento de fuerza y las adaptaciones del sistema neurovegetativo a dicho entrenamiento están orientados a describir sus efectos en población adulta sana o con alguna enfermedad, y en el alto rendimiento se limitan a describir los componentes de la VRC en reposo y post ejercicio agudo.

Dada la falta de información acerca de perfiles caracterizadores del comportamiento neurofisiológico de los atletas de los levantadores de pesas, este estudio buscó describir los perfiles autonómicos de los atletas de esta disciplina adscritos al Ministerio del Deporte de Colombia y que conforman la selección nacional categoría mayores, en proceso de clasificación a los Juegos Olímpicos de Tokio 2020.

Esta descripción se realizó, no sólo en condiciones de reposo, sino también en diferentes situaciones desencadenantes de estrés fisiológico que permiten el análisis de la modulación ejercida por el SNA sobre la frecuencia cardíaca y de la reactividad, tanto del SNS como del SNP, tratando de establecer la respuesta a un estímulo determinado y comparando estos datos con sujetos entrenados en otras modalidades y físicamente inactivos.

Para realizar esta caracterización, se analizó la información existente en las bases de datos del Ministerio del Deporte de Colombia, donde están consignadas las pruebas de VRC realizadas a los atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas en el año 2020.

La recolección de estos datos se realizó mediante la aplicación de un protocolo estandarizado de medición de la VRC, en el cual se reprodujeron diferentes condiciones generadoras de estrés fisiológico de forma controlada (reposo en decúbito dorsal, patrón respiratorio controlado, cambio postural ortostático, ortostatismo, cortos periodos de estrés físico y descanso post actividad física) y con tiempos de exposición definidos.

Con el fin de completar esta caracterización, se realizó una comparación de esta información con los datos obtenidos en las mismas condiciones en población general, sana, entrenada en otras modalidades y con un grupo pareado de sujetos físicamente inactivos. Esto permitió contrastar este análisis realizado en sujetos de alto rendimiento, en quienes el entrenamiento de fuerza es un elemento fundamental, con sujetos que no realizan dicho entrenamiento.

Se espera que esta información pueda ayudar a integrar de una manera más lógica y eficaz el uso del análisis de la VRC en este tipo de deportes y que sirva como base para la creación y sustentación de hipótesis que intenten explicar la presencia de estas respuestas integradas del SNA en el entrenamiento de fuerza.

2. Marco teórico

Desde hace décadas, la fisiología del ejercicio y, en general, todas las ciencias del deporte han tratado de develar los efectos producidos por el estrés del ejercicio en el organismo, con especial énfasis en el impacto de este en el sistema cardiovascular, incluyendo su regulación neurológica por parte del SNA (Aubert et al., 2003).

El SNA tiene una gran importancia en la regulación inicial de las respuestas fisiológicas del organismo al ejercicio, incluyendo las modificaciones en la frecuencia cardiaca y la presión arterial. El análisis de la VRC puede brindar información muy útil en población general sana y enferma como indicador de estado de salud y predictor de eventos adversos cardiovasculares y mortalidad (Ianna et al., 2018). Por otro lado, en atletas de alto rendimiento permite determinar el estado de adaptación al estrés físico y mental impuestos tanto por el entrenamiento deportivo como por la competencia y puede servir como factor predictor de estados de sobreentrenamiento (Arja L.T. Uusitalo et al., 2000).

Sin embargo, el estudio de la interacción entre la función del sistema cardiovascular, la actividad del SNA y el entrenamiento son objeto de continua investigación, dado la complejidad de su articulación y de la interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas disponibles actualmente para evaluarla (Rodas et al., 2008)

Uno de los métodos usados para evaluar el comportamiento del sistema cardiovascular, el cual está bajo la constante influencia del SNA, es el análisis de la VRC. Este análisis permite realizar el estudio de las adaptaciones neurovegetativas que gobiernan la fisiología cardiovascular y que se producen como respuesta a diferentes situaciones en el organismo (decúbito, ortostatismo, ejercicio físico, hipoxia, etc.) (Poveda et al., 2009).

El estudio de la VRC es una herramienta no invasiva y reproducible si se realiza una adecuada estandarización de los protocolos de medición (Plews et al., 2013). Estas características son muy importantes en la medicina del deporte y, en especial, en el campo del alto rendimiento ya que facilitan la generación de una línea de base del estado del atleta y la realización de un seguimiento posterior. El objetivo del seguimiento a largo plazo es evaluar el impacto de las modificaciones implementadas en los planes de entrenamiento, dependiendo de las necesidades fisiológicas del sujeto y con el fin de mejorar su calidad de vida y su rendimiento deportivo.

La VRC se define como la variación fisiológica de la duración del lapso entre dos latidos cardiacos en un intervalo de tiempo definido (Rodas et al., 2008). Esta variación es la representación de la modulación ejercida por el SNA sobre el corazón y podría interpretarse como un indicador de la contribución de las dos ramas de este.

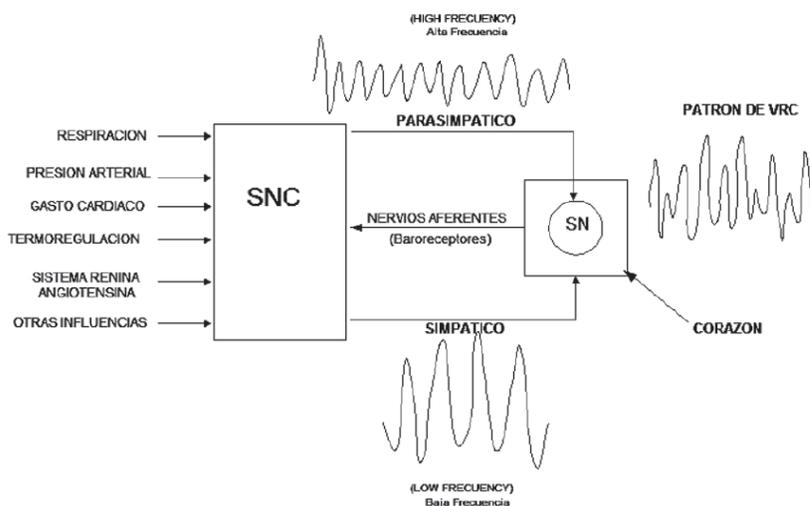
Tanto la rama simpática como parasimpática envían señales a los nodos sinoauricular y auriculoventricular continuamente para regular la conducción del impulso nervioso y las fuerzas de contracción, dependiendo de las necesidades fisiológicas del sujeto y de los cambios ambientales. En este sentido, cabe resaltar que existe una variación innata de esta modulación nerviosa, aun cuando el sujeto está en reposo (Poveda et al., 2009).

La actividad del SNS y SNP discurre dentro de una dinámica de eferencias e inhibiciones, como la mayoría de las condiciones fisiológicas del organismo y, en muchas ocasiones, se interpreta con la idea de que sus acciones son antagónicas entre sí (Bootsma et al., 1994). Sin embargo, esta consideración podría reevaluarse ya que es más apropiado interpretar esta dinámica como una respuesta integrada y resultante de esa interacción constante de impulsos inhibitorios y excitatorios (Poveda et al., 2009). Normalmente, en estado de reposo predomina la actividad del SNP y en estados de estrés o ejercicio físico predomina la estimulación del SNS (Aubert et al., 2003).

La modulación ejercida por el SNA hacia la frecuencia cardiaca está determinada por la influencia de diferentes estímulos internos en el organismo como la arritmia sinusal respiratoria, la presión arterial y la termorregulación, lo cual se observa en la gráfica 2-1

(Poveda et al., 2009). Un factor adicional regulatorio de la respuesta de la frecuencia cardiaca es el control vasomotor periférico (Van Ravenswaaij-Arts et al., 1993).

Gráfica 2-1: Esquema de los mecanismos de control cardiovascular, responsables de las principales fluctuaciones periódicas de la frecuencia cardiaca



Gráfica tomada de: (Poveda et al., 2009)

El análisis de la VRC se puede realizar mediante la realización de registros electrocardiográficos de duraciones variables o mediante el registro del tiempo transcurrido entre ondas R consecutivas (Intervalos RR), utilizando dispositivos portátiles inalámbricos configurados para tal fin. Posterior a esto, se transcriben los datos a un software que corrige los errores del registro y que remuestrea la serie de intervalos RR irregulares a instantes de tiempo regulares mediante un algoritmo de interpolación lineal. Después de la realización de este procesamiento se pueden calcular los diferentes parámetros de la VRC, tanto en función del tiempo como de la frecuencia (Tulppo et al., 1996).

Cuando se realiza un análisis en el dominio temporal se utilizan medios estadísticos como promedios y desviaciones estándar, los cuales se presentan en la tabla 2-1. Algunos de estos índices estadísticos reflejan la modulación vagal.

Tabla 2-1: Parámetros usados en el análisis de la VRC en el dominio temporal y sus derivados

Parámetro	Nomenclatura	Definición
Intervalos RR	RR	Intervalo entre dos latidos (pico de R en el ECG)
Promedio de los intervalos RR	Prom RR	Duración media de todos los intervalos RR
RMSSD	RMSSD	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR
pNN50	pNN50	Porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan más de 50 ms entre si
Índice Parasimpático	PNS Índice	Cálculo del software Kubios basado en el Prom RR, el RMSSD y el índice del plot de Poincaré de SD1 en u.n
Índice Simpático	SNS Índice	Cálculo del software Kubios basado en el FC Prom, el índice de estrés de Baevsky y el índice del plot de Poincaré de SD2 en u.n
Índice de estrés de Baevsky	SI	Medida geométrica de la VRC que refleja el estrés del sistema cardiovascular.
Índice de estrés	Stress Índice	Raíz cuadrada del SI
Índice 30/15	Índice 30/15	Cálculo de la medida del intervalo RR en ms en el latido 30 después del cambio postural ortostático dividido la medida del intervalo RR en ms en el latido 15

Tabla tomada y modificada de: (Rodas et al., 2008)

Para obtener medidas más cualitativas, se debe realizar un análisis espectral del ritmo cardíaco a través de la transformada rápida de Fourier, que busca relacionar la medición de los intervalos RR en el dominio frecuencial y, de esta forma, permite la evaluación de las diferentes potencias espectrales en ms/Hz^{-1} , en función de la frecuencia de las oscilaciones presentes en un trazado determinado (Aubert et al., 2003).

Se diferencian tres componentes principales: el componente VLF, el LF y el HF. El componente de VLF corresponde a oscilaciones inferiores a 0.05 Hz y, aunque no se sabe con certeza su significado preciso, parece reflejar la expresión de mecanismos de cierre y apertura de campos vasculares periféricos, muchas veces termorregulados, y la actuación de sistemas como el renina-angiotensina-aldosterona (Akselrod et al., 1981).

El componente de LF incluye las oscilaciones entre 0.05 y 0.15 Hz y corresponde a las oscilaciones de la presión arterial (ondas de Mayer). Este componente refleja la modulación de las dos ramas del SNA, pero siempre se encuentra elevado en situaciones que activen el SNS (Pagani et al., 1986).

El componente de HF comprende oscilaciones mayores a 0.15 Hz, las cuales están influenciadas por la arritmia respiratoria y son consideradas como un indicador de actividad parasimpática. El índice LF/HF en reposo refleja el equilibrio de los dos componentes y es frecuentemente interpretado como un indicador de balance simpático vagal (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and, 1996).

Hay que tener presente que los hallazgos obtenidos del procesamiento de los datos de VRC tiene que ser interpretados siempre en un contexto específico, teniendo en cuenta que estos van a estar determinados tanto por características propias del sujeto como la edad y su estado físico y mental, como por las condiciones ambientales a las cuales se somete el individuo en el momento de la realización de las mediciones (Gall et al., 2004).

Sobre este aspecto, cabe resaltar la influencia específica de la respiración regular a un ritmo impuesto y el efecto de la inspiración y espiración en la estimulación de los barorreceptores y en la concentración de la potencia espectral (Fenley et al., 2016). Con una frecuencia respiratoria mayor a 9 ciclos por minuto (es decir a 0.15 Hz), el pico de la potencia espectral se podrá encontrar en los límites de HF, con lo que se podría analizar el tono y la modulación parasimpáticas. Esto toma gran relevancia en sujetos cuya frecuencia respiratoria es muy lenta de base y desplazan el pico respiratorio del espectro de energía hacia el componente LF (Strano et al., 1998).

Existen otros estímulos fisiológicos que se deben tener en cuenta a la hora de la medición de la VRC como el cambio postural ortostático, el ortostatismo y la actividad física. En el cambio postural ortostático y en el ortostatismo hay un importante aumento de los componentes LF y una disminución de los componentes HF que podría reflejar la reactividad y el tono del SNS, respectivamente, producto de las compensaciones producidas por la modificación aguda del retorno venoso (Poveda et al., 2009).

La actividad física es un importante estímulo modificador de la respuesta nerviosa autónoma en el organismo, pudiéndose observar en múltiples estudios las diferencias en los índices de actividad parasimpática entre sujetos sedentarios, físicamente activos y entrenados, específicamente, en deportes de resistencia (Plews et al., 2013).

El entrenamiento a largo plazo influencia el ritmo cardiaco, lo que se evidencia en la identificación de una bradicardia sinusal en reposo y aumentos lentos de la frecuencia cardiaca a cargas submáximas. Esto puede ser explicado, en parte, por las adaptaciones de la balanza neurovegetativa hacia una dominancia parasimpática y una ligera disminución de la modulación simpática (Smith et al., 1989).

La frecuencia cardiaca durante el ejercicio es regulada por la reactividad simpática y por la caída de la modulación parasimpática, lo que va a estar influenciado por muchos otros determinantes como la herencia, el nivel de acondicionamiento, el tipo de ejercicio, y la habilidad (Aubert et al., 2003). Pero, además, se debe tener presente la integración de otros factores ya mencionados como la posición del cuerpo, la temperatura, la humedad, el estado mental y hormonal del sujeto, el uso de estimulantes y los hábitos alimentarios para poder realizar una aproximación lógica de las manifestaciones y adaptaciones neurovegetativas en condiciones tanto agudas como crónicas durante el ejercicio.

En atletas entrenados con bradicardia sinusal, se ha observado un incremento del componente HF después de la realización de ejercicios dinámicos máximos, posiblemente duradero hasta 24 horas (Smith et al., 1989). Esta elevada acción parasimpática puede asociarse a un efecto post ejercicio agudo y puede utilizarse dentro del análisis espectral

de la VRC como indicador del funcionamiento de esa modulación del SNP ante la exposición al estrés físico.

El análisis de la VRC ha tomado mucha importancia en los últimos años dentro del alto rendimiento, dado que la medición de la VRC se realiza a través de métodos no invasivos y porque brinda la capacidad para monitorizar el efecto fisiológico de las cargas de entrenamiento, para modificar los programas establecidos y para anteceder un eventual estado de sobrecarga no funcional o sobreentrenamiento (Plews et al., 2013).

Por lo general, se opta por la realización de mediciones de corta duración de la VRC para que se articule adecuadamente a las dinámicas del deporte de alto rendimiento y produzca una mínima interferencia con la realización de las actividades estructuradas para el atleta. Los registros de más de una hora son difíciles de interpretar y requieren el control estricto de las actividades realizadas por el atleta. Por otro lado, registros realizados durante la actividad física requieren del conocimiento de variables fisiológicas adicionales como el consumo máximo de oxígeno o los umbrales ventilatorios para su correcta interpretación (Rodas et al., 2008).

Es por esto que parece más conveniente la realización de registros de corta duración con protocolos estandarizados, en los que se pueda reproducir condiciones generadoras de diferentes grados de estrés fisiológico de forma controlada (reposo en decúbito dorsal, control de la frecuencia respiratoria, cambio postural ortostático, ortostatismo, cortos periodos de estrés físico, entre otras), y que permita la integración e interrelación lógicas de la información obtenida con las manifestaciones del SNS y SNP, tanto en tono como en modulación (Poveda et al., 2009).

Se pueden realizar registros aislados y repetidos de la VRC; los registros únicos de VRC pueden utilizarse como un complemento de la evaluación cardiorrespiratoria y permiten establecer una línea de base con respecto al estado de la balanza neurovegetativa del sujeto evaluado (Aubert et al., 2003).

Esta línea de base es muy importante ya que permite caracterizar las adaptaciones que tiene el SNA en el contexto de cada disciplina deportiva particular. Además, permite conocer las deficiencias y fortalezas que presenta el atleta con respecto a dichas

características y habilita la posibilidad de realizar comparativos (con mediciones posteriores) para controlar las adaptaciones cardiovasculares propias de la realización de actividad física.

Dado que existen múltiples factores que pueden determinar el comportamiento de la VRC, su evolución va a variar entre cada disciplina deportiva. La mayoría de información disponible en la literatura intenta describir el comportamiento de la VRC en deportes de resistencia (Plews et al., 2013). En general, un mejoramiento de la capacidad cardiorrespiratoria se acompaña de un aumento del componente HF, lo que reflejaría un efecto favorable de esta dominancia parasimpática en el rendimiento (Sandercock et al., 2005). Aun cuando existe información controversial, se cuenta con estudios que soportan el uso de la VRC en la monitorización de las adaptaciones al entrenamiento en los deportes de resistencia mediante mediciones longitudinales para seguimiento de variables en el dominio temporal, buscando representar de manera significativa los cambios que puedan sugerir fatiga o adaptación funcional al entrenamiento (Plews et al., 2013).

En el momento, existe información limitada en alto rendimiento acerca de los deportes donde el entrenamiento de la fuerza es el principal componente, como la halterofilia o levantamiento de pesas.

El levantamiento de pesas es un deporte olímpico cuyo objetivo es levantar la mayor cantidad de peso posible sobre la cabeza, distribuido equitativamente en discos que se fijan en los extremos de una barra metálica, en dos movimientos diferentes: el arranque y el envión. Este deporte puede ser practicado tanto por hombres como por mujeres, quienes deben ser clasificados en diferentes categorías según su peso (Storey & Smith, 2012).

La estructura de entrenamiento de los levantadores de pesas competitivos se caracteriza por el uso frecuente de ejercicios de fuerza de alta intensidad y maximales. Existen varios programas de entrenamiento de levantamiento de pesas que se pueden personalizar dependiendo de las características de cada atleta y de sus objetivos deportivos. Un programa efectivo debe equilibrar la sobrecarga muscular con el tiempo de recuperación para facilitar la ganancia de fuerza y debe buscar el desarrollo de otras características

importantes en el deporte como la técnica de levantamiento, la regulación del peso corporal, las habilidades psicológicas, entre otras (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and, 1996).

Cabe resaltar que esta disciplina olímpica le ha brindado al país los mejores registros competitivos que cualquier disciplina haya mostrado en estas justas deportivas y se ha convertido en uno de los deportes más importantes para el desarrollo deportivo del país. La información de la que se dispone hasta este momento se relaciona con el efecto agudo y crónico del entrenamiento de fuerza sobre la VRC en sujetos físicamente activos, pero pocos se concentran en población de alto rendimiento.

Dentro de los ejercicios de fuerza agudos y el entrenamiento de fuerza hay muchas variables que pueden ser manipuladas como el tipo de contracción muscular, la carga, el volumen de entrenamiento completado, la velocidad de ejecución de los movimientos, la magnitud de los periodos de descanso, el orden de los ejercicios, el tipo de ejercicios usados, la frecuencia del régimen de entrenamiento, entre otros (Bhati et al., 2019).

El tipo de contracción muscular ya sea isométrica o auxotónica puede alterar la modulación autonómica. Diversos estudios han mostrado que la actividad simpática está determinada por la cantidad de masa muscular que está siendo utilizada. Se ha reportado que la actividad vagal disminuye después de un ejercicio de resistencia agudo en jóvenes sanos, con una persistencia de esta reducción hasta 90 minutos después de la intervención (Kingsley & Figueroa, 2016).

En un estudio realizado en 2011 (Chen et al., 2011), en el cual emplearon ejercicios con intensidades entre 60% y 95% de 1 repetición máxima, con 90 segundos de descanso entre cada set, se evidenció un retorno del poder espectral de HF a los valores de base después de 48 a 72 horas después del cese del ejercicio.

Con respecto al comportamiento de la VRC en reposo y el entrenamiento de fuerza de corta duración, actualmente la evidencia muestra que no la afecta, en el contexto de jóvenes adultos sanos. Sin embargo, parece que mejora la modulación parasimpática post

entrenamiento, lo que se evidencia por la mejoría en la capacidad de recuperación de la frecuencia cardíaca después del entrenamiento (Kingsley & Figueroa, 2016).

Una revisión sistemática y metaanálisis realizados en el 2019 corroboró la información anteriormente citada. Esta revisión de 28 estudios controlados, aleatorizados, cuasi experimentales con protocolos de duración de por lo menos 4 semanas de intervención mostró que la mayoría de la literatura sugiere que el entrenamiento de fuerza no genera cambios en el control autonómico en reposo en sujetos sanos (Bhati et al., 2019).

Estos hallazgos pueden estar relacionados con el hecho de que, al no tener comorbilidades, no poseen alteraciones en el tono parasimpático en reposo y por eso no se evidencian modificaciones después de la intervención. Sin embargo, esta información debe ser analizada con detenimiento ya que en un reciente estudio controlado aleatorizado en el que se compararon dos modelos de entrenamiento de fuerza, se ilustraron cambios positivos en medidas del dominio temporal (aumento del RMSSD) en reposo después de 8 semanas de intervención, en adultos jóvenes sanos. Este estudio incluyó sujetos que ya habían tenido un entrenamiento previo en fuerza, lo que podría sugerir que una exposición previa a un entrenamiento de este tipo puede hacer que los individuos sanos respondan más a la intervención (Bhati et al., 2019).

Varios factores, como el pequeño tamaño de la muestra en algunos estudios, la alta variación entre sujetos de los marcadores de VRC y, al parecer la incapacidad del entrenamiento de fuerza para mejorar la rigidez arterial central (Heffernan et al., 2007) y la sensibilidad barorrefleja cardiovagal (Cooke & Carter, 2005) pueden explicar el bajo impacto de estas intervenciones en la VRC. Tomados en conjunto, los datos existentes tienden a sugerir que no hay efectos beneficiosos de entrenamientos de fuerza convencional sobre FCV en reposo en individuos sin evidencia de disfunción de modulación autonómica en reposo. El entrenamiento de fuerza pudo haber llevado a cambios en la modulación simpática pero no se puede generar una conclusión al respecto ya que los estudios no evaluaron este aspecto (Bhati et al., 2019).

Aun cuando no hay una evidencia clara sobre este tema, se han especulado algunos mecanismos por los cuales el entrenamiento de fuerza podría generar adaptaciones en la modulación autonómica. Las investigaciones en humanos y sobre modelos animales sugieren una mayor capacidad de respuesta de los barorreceptores y el aumento de la biodisponibilidad de óxido nítrico, que en conjunto funcionan como un mecanismo de retroalimentación positiva que disminuye la modulación simpática cardíaca y vascular (Macedo et al., 2016).

Como se puede evidenciar, existe una información limitada a los efectos del entrenamiento de fuerza en la VRC en reposo y además en individuos sanos físicamente activos. Este hecho soporta la importancia de la realización de investigaciones en las que se involucren deportistas de alto rendimiento especializados en el entrenamiento de fuerza y en los que se caractericen otros aspectos del perfil autonómico del atleta, además de su comportamiento en reposo y post ejercicio.

En el 2001 se realizó un estudio en la Universidad de Antioquia donde se buscó comparar el comportamiento de la variabilidad del ritmo cardíaco en registros de corta duración en 15 atletas levantadores de pesas, 17 deportistas de resistencia y 19 personas sedentarias, analizando las variables del dominio tanto temporal como frecuencial (Gallo et al., 2001). Se encontró una FC Prom menor en los atletas entrenados en resistencia, y valores mayores en el dominio temporal de todas las variables evaluadas, comparado con los pesistas y los sujetos sedentarios, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas en el análisis de las variables del dominio frecuencial.

En 2012 se publicó un estudio analítico descriptivo de corte transversal en el que se analizaron los componentes espectrales de la VRC en reposo, a partir de registros cortos, de sujetos de 18 a 25 años; 12 corredores de fondo y semifondo con edades competitivas de 4 ± 2.97 años, 10 levantadores de pesas con edad competitiva de 4 ± 3.1 años y 11 sujetos de control no físicamente activos (Ortiz Guzmán et al., 2012). El objetivo fue comparar los componentes espectrales de la VRC en hombres jóvenes entrenados tanto en resistencia como en fuerza. Los sujetos entrenados en resistencia presentaron valores más bajos en la potencia espectral del componente LF y los valores más altos en los de

HF, sin que estas diferencias fueran estadísticamente significativas. El PET fue similar en todos los grupos al igual que el índice LF/HF (Ortiz Guzmán et al., 2012).

Un estudio realizado en Italia en 2019 con el equipo nacional de levantamiento de pesas en la temporada previa de los juegos olímpicos de Río de Janeiro 2016. 5 hombres y 4 mujeres de 20 a 39 años, con por lo menos 6 años compitiendo en alto nivel (Iellamo et al., 2019). Estos atletas fueron sometidos a un programa de entrenamiento de 18 sesiones semana con rutinas típicas de levantamiento de pesas, entre el 70% al 95% de su 1RM, con mediciones de VRC en reposo seriadas durante la fase de entrenamiento. Los resultados de este estudio indicaron que los atletas de levantamiento de pesas de élite italianos hay una relación curvilínea de la dosis respuesta entre la carga del entrenamiento y el comportamiento de los parámetros del sistema nervioso autónomo del dominio frecuencial, como se ha reportado en atletas de resistencia.

Sin embargo, a diferencia de estos últimos, en estos atletas en quienes el entrenamiento de fuerza es el componente principal, las adaptaciones van en sentido contrario con un incremento en indicadores vagales y la recíproca disminución en indicadores simpáticos con la progresión de las cargas de entrenamiento. Este estudio muestra que las adaptaciones de estos atletas parecen ser específicas de su especialización deportiva y que la monitorización de la VRC puede tener implicaciones prácticas para el seguimiento de las dinámicas de entrenamiento en levantadores de pesas.

Esta caracterización de la población cuyo entrenamiento es específico de la fuerza es muy importante porque sirve de base conceptual para la realización de más investigaciones. Sin embargo, tiene una limitación a considerar referente a la evaluación de registros en reposo de forma aislada; se requiere la observación de esta población durante la exposición a diferentes grados de estrés fisiológico para poder completar el perfil autonómico, lo cual justificaría la realización del presente estudio.

Como se mencionó en una previa ocasión, la realización de esta caracterización del perfil autonómico de los levantadores de pesas permitiría tener una línea de base de las manifestaciones y adaptaciones que tiene el SNA en esta disciplina y brindaría la

posibilidad de integrar esta información a los procesos de monitorización del entrenamiento para controlar las adaptaciones fisiológicas propias de la realización del entrenamiento de fuerza.

3. Diseño de investigación

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Caracterizar el perfil autonómico de los atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas, tanto hombres como mujeres, integrantes de la Selección Colombia (categorías mayores) y asociados al Ministerio del Deporte de Colombia, mediante el análisis de la VRC, en el año 2020.

3.1.2 Objetivos específicos

- Describir el comportamiento de las variables más relevantes del dominio temporal del análisis de la VRC, dependiendo del tipo de estrés fisiológico impartido en el atleta de levantamiento de pesas en el momento de la aplicación del protocolo de medición.
- Describir el comportamiento de las variables más relevantes del dominio frecuencial del análisis de la VRC, dependiendo del tipo de estrés fisiológico impartido en el atleta de levantamiento de pesas en el momento de la aplicación del protocolo de medición.
- Comparar los datos del comportamiento de la balanza neurovegetativa de los levantadores de pesas antes descritos, con datos obtenidos de la realización del mismo protocolo en población entrenada de predominio en resistencia y físicamente inactiva, residente en alturas similares a las que estuvieron expuestos los levantadores de pesas analizados en el estudio.

3.2 Tipo de estudio

Este es un estudio de corte retrospectivo, transversal, descriptivo observacional, con muestreo por conveniencia, en el cual se realizó la extracción de los datos de las grabaciones realizadas de los Intervalos RR de la actividad cardiaca de los atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas, tanto hombres como mujeres pertenecientes a la Selección Colombia (categorías mayores), asociados al Ministerio del Deporte del año 2020.

3.3 Características de la población

Todos los deportistas de alto rendimiento de la disciplina de levantamiento de pesas, Selección Colombia (categorías mayores), tanto hombres como mujeres, en quienes se hubiera realizado una prueba para analizar la VRC en enero del año 2020, durante concentraciones en Bogotá en el Ministerio del Deporte, con 4 semanas de adaptación a la altura.

Adicionalmente, y como grupo de comparación, se incluyó población adulta sana y entrenada en otras modalidades de predominio en resistencia y población físicamente inactiva, en quienes se hubiera realizado un análisis de la VRC bajo condiciones similares a las que tuvieron los levantadores de pesas y residentes en Bogotá.

3.3.1 Criterios de inclusión

- Datos de deportistas de alto rendimiento de la disciplina de levantamiento de pesas de la Selección Colombia (categorías mayores), asociados al Ministerio del Deporte y con prueba registrada en bases de datos de dicha institución.
- Datos de sujetos en quien se realizó pruebas para la medición de la VRC en pretemporada, con preparación previa para la prueba y protocolos estandarizados de adquisición de los datos (reposo, respiración controlada, cambio postural ortostático, ortostatismo, estrés físico corto, y reposo posterior al estrés físico)
- Datos de sujetos sanos, entrenados en otras modalidades (predominantemente en ejercicio de resistencia y, con promedio de 15 horas de entrenamiento semanales), en

quienes se realizó un análisis de la VRC bajo condiciones similares a las que tuvieron los levantadores de pesas y residentes en Bogotá

- Datos de sujetos físicamente inactivos bajo la definición del Colegio Americano de Medicina del Deporte, ACSM (sujeto que no realiza actividad física como mínimo 30 minutos al día, 3 veces a la semana desde hace 3 meses) y clasificada por medio del Cuestionario Internacional de Actividad Física, IPAQ, en quienes se realizó un análisis de la VRC bajo condiciones similares a las que tuvieron los levantadores de pesas y residentes en Bogotá.
- Mayores de 18 años

3.3.2 Criterios de exclusión

- Datos que figuren en la base de datos no pertenecientes a atletas de la entidad.
- Datos de atletas no pertenecientes a la disciplina de levantamiento de pesas y que se encuentren en las bases de datos institucionales
- Presentar signos o síntomas clínicos sugestivos de disminución del rendimiento o sobrecarga no funcional.
- Datos de pruebas sin estandarización de los protocolos tanto de medición como de preparación para la prueba.

3.4 Metodología

Para elaborar la descripción del perfil neurovegetativo de los atletas de levantamiento de pesas se realizó una búsqueda en la base de datos del Ministerio del Deporte de las mediciones de VRC hechas a todos los deportistas de alto rendimiento de la disciplina de levantamiento de pesas, Selección Colombia (categorías mayores), tanto de hombres como de mujeres en enero del año 2020, durante las concentraciones en Bogotá, quienes tuvieran como mínimo 4 semanas de estancia en altura previas a la valoración.

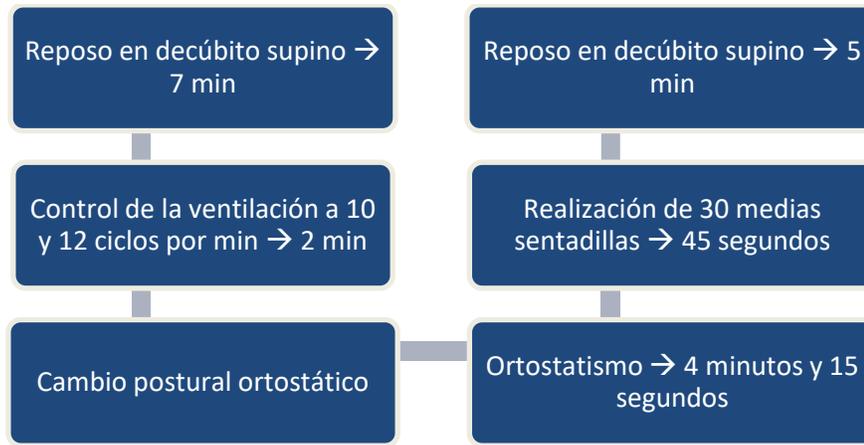
Antes de la realización de estas evaluaciones, los atletas tuvieron que cumplir con una preparación específica, de tal forma que la información que se obtuviera no fuera

influenciada por factores confusores. Los atletas tuvieron que evitar las siguientes situaciones, 8 horas antes del registro:

- Haber consumido café, té o cualquier producto que tuvieran cafeína.
- Haber consumido cualquier tipo de bebidas alcohólicas, o depresores del sistema nervioso central (Ej. medicamentos antigripales, antihistamínicos, relajantes musculares, antidepresivos, sedantes, ansiolíticos etc.)
- Haber fumado cigarrillos, tabaco o haber usado cualquier estimulante del sistema nervioso central.
- Haber realizado ejercicio dentro de este periodo de 8 horas.
- Haber dormido menos de 6-8 horas previo al registro.

Adicionalmente, los atletas fueron evaluados con la prueba de Regulación Autonómica TRam para definir su nivel de regulación neurovegetativa, con el Cuestionario de Sobre-Entrenamiento de la Sociedad francesa de Medicina del Deporte (SFMS) para identificar la presencia de síntomas sugestivos de disminución del rendimiento y sobrecarga no funcional y con el diario de sueño de Karolinska (KSD) para evaluar posibles trastornos del sueño.

Los registros fueron realizados mediante el uso de dispositivos inalámbricos especializados en grabación de registros RR (Suunto® Team Manager) y durante la aplicación de un protocolo estandarizado de medición de la VRC, de duración aproximada de 20 minutos, el cual será denominado en el presente texto como “Prueba de función autonómica” y que se muestra en la gráfica xxx. Este protocolo inicia con 7 minutos en decúbito supino y continua con 2 minutos de grabación en los que se guía la velocidad de la frecuencia respiratoria del sujeto a 10 y 12 ciclos por minuto. Luego de la respiración controlada se le solicita al sujeto que se ponga de pie rápidamente y que permanezca de pie durante 4 minutos y 15 segundos, con posterior realización de 30 medias sentadillas durante 45 segundos y reposo en decúbito supino por 5 minutos más. Durante la fase de reposo de la prueba, el sujeto debe procurar permanecer con los ojos cerrados, tratando de reducir estímulos auditivos, con los brazos a lado y lado del tronco y sin cruzar las piernas.

Gráfica 3-1: Prueba de función autonómica usada para la medición de la VRC

La totalidad de los registros en los atletas de levantamiento de pesas fueron realizados a las 9:00 de forma simultánea. El tiempo de permanencia en Bogotá previo a la realización de la prueba fue de 4 semanas en promedio para cada atleta.

Estos datos fueron procesados en el software Kubios (Versión 3.3.1), donde se obtuvo las variables tanto del dominio frecuencial como temporal de la VRC y sus derivados. El análisis de estas variables tuvo que ajustarse al tipo de estrés fisiológico impartido en el atleta en el momento de la aplicación del protocolo de medición, con lo cual se describieron los hallazgos para construir el perfil autonómico de estos deportistas.

Con el fin de completar esta caracterización, se realizó una comparación de estos datos con los obtenidos de la aplicación de la misma prueba de función autonómica en población general, sana, entrenada en diferentes modalidades, pero de predominio en resistencia y físicamente inactivos, permitiendo contrastar el análisis de sujetos de alto rendimiento, en quienes el entrenamiento de fuerza es un elemento fundamental, con sujetos que no realizan dicho entrenamiento. Estos datos fueron obtenidos de una base de datos de consultas externa de medicina del deporte realizadas de forma particular.

Los registros de los grupos de sujetos entrenados en resistencia y de los físicamente inactivos, se recolectaron con cardiofrecuenciómetros (Suunto T6, Suunto Ltd., Vantaa, Finland; Polar CS800, Polar Electro, Kempele, Finland), entre las 8:00 y las 12:00 del

mediodía y todos los sujetos eran residentes en Bogotá, sin permanencias recientes superiores a una semana fuera de esta altitud.

Todos los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo, comparativo por medio de softwares que facilitaron el procesamiento de los datos y su adecuada interpretación.

3.5 Análisis estadístico

Se realizó el cálculo de las medias de los valores de las variables de la VRC tanto del dominio temporal como frecuencial y sus derivados en todas las etapas de la prueba de función autonómica para los 3 grupos poblacionales evaluados, con el cálculo de desviación estándar.

Para realizar el análisis comparativo de los deportistas entrenados en levantamiento de pesas con los sujetos entrenados en resistencia y los sujetos físicamente inactivos se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para todas las variables en el dominio del tiempo y la frecuencia y sus derivados. Para la realización del análisis "post Hoc" para hacer la comparación entre los grupos (sujetos entrenados en resistencia y levantadores de pesas, sujetos entrenados en resistencia y físicamente inactivos, y levantadores de pesas y sujetos físicamente inactivos) se empleó el método de las mínimas diferencias significativas (LSD). Los resultados fueron expresados como promedios \pm la desviación estándar (SD). Un valor de p de 0.05, fue utilizado como un nivel crítico de significancia. Para hacer el análisis estadístico se utilizó el programa CLEMENTINE 11.1® y Excel.

4. Consideraciones ambientales y éticas

El presente trabajo ha sido aprobado por el comité de ética de la facultad de medicina de la Universidad Nacional de Colombia bajo el **ACTA DE EVALUACIÓN**: N°. 015-153 del 29 de septiembre del 2020.

LA PRESENTE SERÁ UNA INVESTIGACIÓN SIN RIESGO, de acuerdo a lo establecido en la Resolución No. 00843 de 1993 del Ministerio de Salud; Título II, capítulo 1: Aspectos éticos de las investigaciones en seres humanos, Artículo 11, numeral A:

“Son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta”

Dispositivos de seguridad y confidencialidad: Según el artículo 8 de la mencionada resolución la información obtenida y difundida en el desarrollo del presente estudio será considerada y manejada en todo momento como confidencial.

La información solo se manejará por parte de los investigadores. Cualquier información tendrá un proceso de asignación de un número de identificación en vez del nombre del atleta. No se compartirá la información ni se le dará a nadie, excepto al equipo de investigación y personal a cargo de la sistematización.

5. Resultados

5.1 Características de la población

En este estudio se evaluaron los datos de 24 sujetos, divididos en 3 grupos: “Levantadores de Pesas” (LVP), “Entrenados en resistencia” (ER) y “físicamente inactivos” (FI). Cada uno compuesto por 4 mujeres y 4 hombres, todos ellos sin antecedentes patológicos de relevancia y, en el contexto de los sujetos entrenados tanto en resistencia como en fuerza, sin hallazgos clínicos sugestivos de sobre entrenamiento o sobrecarga no funcional al momento de la realización de los registros. En la tabla 3-1 se describen sus características en cuanto a edad, peso y talla (Valor de p de 0,05 como nivel crítico de significancia).

Tabla 3-1: En este estudio se evaluaron los datos de 24 sujetos, divididos en 3 grupos: “Levantadores de Pesas” (LVP), “Entrenados en resistencia” (ER) y “físicamente inactivos” (FI). Cada uno compuesto por 4 mujeres y 4 hombres, todos ellos sin antecedentes patológicos de relevancia y, en el contexto de los sujetos entrenados tanto en resistencia como en fuerza, sin hallazgos clínicos sugestivos de sobre entrenamiento o sobrecarga no funcional al momento de la realización de los registros. En la tabla 5-1 se describen sus características en cuanto a edad, peso y talla (Valor de p de 0,05 como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-1: Características poblacionales de los grupos evaluados

Variable	ER	LVP	FI	Valor p
Edad (Años)	25,50±3,46	25,37±3,92	25,12±3,10	ns
Peso (Kg)	59,44±6,26	67,25±10,14	62,49±11,66	ns
Talla (cm)	168,13±6,08	161,38±7,33	165±6,87	ns

El primer grupo compuesto por 8 atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas, 4 mujeres y 4 hombres, con un promedio de edad deportiva profesional mayor a 4 años hasta ese momento, con aproximadamente 6 semanas de descanso dada la finalización de las temporadas de competencia y 4 semanas de estancia en altura media de 2640 msnm, con edades promedio de $25,38 \pm 3,93$ SD años, peso promedio de $67,25 \pm 10,14$ SD kg y estatura promedio de $161,38 \pm 7,33$ SD cm.

El segundo grupo evaluado está compuesto por 8 individuos entrenados principalmente en deportes, en los cuales el entrenamiento de resistencia hace parte fundamental de la preparación física (marcha, atletismo de fondo, ciclismo de ruta, fútbol, y patinaje), con promedio de edad deportiva de mayor a 4 años y 15 horas aproximadamente de entrenamiento semanales, residentes en Bogotá con edades promedio de $25,50 \pm 3,47$ SD años, peso promedio de $59,44 \pm 6,25$ SD kg y estatura promedio de $168,14 \pm 6,57$ SD cm.

El último grupo está compuesto por 8 sujetos físicamente inactivos, quienes no realizaban actividad física como mínimo 30 minutos al día, 3 veces a la semana desde hacía 3 meses, residentes en Bogotá, con edades promedio de $25,13 \pm 3,09$ SD años, peso promedio de $62,49 \pm 11,66$ SD kg y estatura promedio de $165 \pm 6,87$ SD cm. Tras la realización del análisis estadístico de las variables de edad, peso y talla, no se encontraron diferencias significativas.

5.2 Resultados de los valores de las variables del dominio temporal y frecuencial de la VRC en cada fase de la prueba de competencia autonómica en los LVP

5.2.1 Resultados de los valores de las variables de la VRC en posición supina en LVP

En las tablas 5-2 y 5-3 se muestran los valores de las variables tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los LPV en posición supina.

Tabla 5-2: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en posición supino LVP

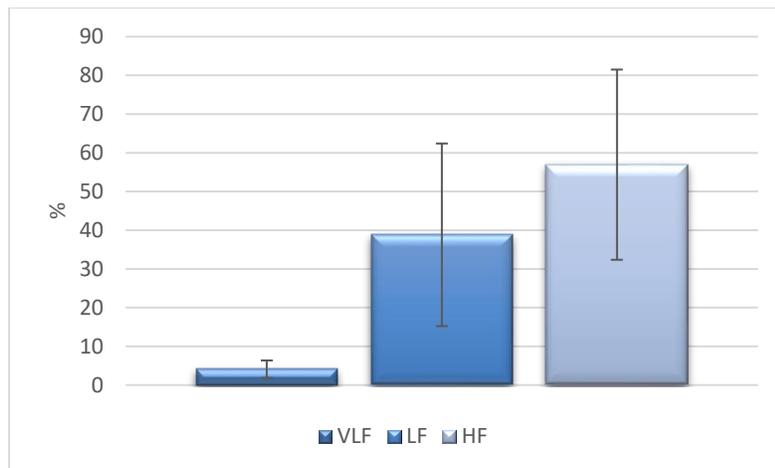
Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	76,7	12,1	92,01	55,37
FC Mín (lpm)	58,4	9,3	74,69	46,59
FC Prom (lpm)	65,2	8,8	82,24	50,47
Prom RR (ms)	935,5	128	1188,77	729,56
RMSSD (ms)	62,8	34,8	124,23	14,49
pNN50 (%)	36,9	23,7	63,22	0
PNS Índice	0,7	1,4	2,57	-1,7
SNS Índice	-0,1	1,4	3,05	-1,7
Stress Índice	9,7	5,4	21,61	4,66

Tabla 5-3: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en posición supino en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	4,1	2,3	7,7	1,36
LF%	38,8	23,6	82,83	12,47
HF%	56,9	24,6	86,16	12,58
LF un	40,7	24,8	86,76	12,64
HF un	59,2	24,9	87,34	13,18
VLF log	4,2	1,1	6,13	3,46
LF log	6,4	0,7	7,58	5,34
HF log	6,8	1,4	8,34	4,02
LF ms²	769,7	595,3	1972,73	208,27
HF ms²	1676,3	1492,6	4171	55,75
Cociente LF/HF	1,4	2,2	6,58	0,14
PET	2563,5	2014,3	5988,14	443,04

En esta parte de la prueba se resaltan los valores de las medias de las variables de dominio frecuencial en el componente HF, cuyos valores expresados tanto porcentual y logarítmicamente como en u.n, presentaron valores mayores que las variables del componente LF y VLF, con un coeficiente LF/HF promedio de $1,4 \pm 2,2$. En la gráfica 5-1 se muestra el comportamiento de las variables porcentuales del dominio frecuencial.

Gráfica 5-1: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en supino.



5.2.2 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y 12 ciclos por minuto en LVP

En las tablas 5-4 y 5-5 se muestran los valores de las medias de las variables tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los LPV en la etapa del control de la ventilación a 10 ciclos por minuto, y en las tablas 5-6 y 5-7 a 12 ciclos por minuto.

Tabla 5-4: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	74,64	10,90	86,59	53,35
FC Mín (lpm)	62,79	7,96	77,28	49,35
FC Prom (lpm)	67,63	9,01	81,34	50,74
Prom RR (ms)	902,60	133,49	1182,43	737,63
RMSSD (ms)	84,16	39,45	138,41	28,43
pNN50 (%)	45.80	17.84	2,39	-1,24

Tabla 5-4: (Continuación)

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
PNS Índice	1.09	1.26	2,39	-1,24
SNS Índice	-1.00	0.71	1,9	-1.39
Stress Índice	8,10	3,24	14,94	5,04

Tabla 5-5: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	1,33	0,69	2,38	0,15
LF%	17,93	9,96	40,95	8,98
HF%	80,67	10,06	89,95	57,29
LF un	18,18	10,12	42,60	9,07
HF un	81,75	10,18	90,91	58,20
VLF log	3,94	1,19	5,67	2,65
LF log	6,66	1,14	8,10	5.06
HF log	8,26	1,00	9,54	7,22
LF ms²	1267,87	1144,24	3285,65	156,80
HF ms²	5829,64	5265,31	13949,86	1372,00
Cociente LF/HF	0,24	0,20	0,71	0,10
PET	7200,01	6402,97	17549,15	1566,17

Tabla 5-6: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	72,26	11,58	90,78	52,48
FC Mín (lpm)	61,22	8,22	76,99	48,72
FC Prom (lpm)	66,7	9,77	82,37	50,45
Prom RR (ms)	916,37	141,26	1189,30	728,43
RMSSD (ms)	73,48	30,99	115.55	19,92
pNN50 (%)	42,49	20,38	61,29	0
PNS Índice	0,87	1,18	2,14	-1,53

Tabla 5-6: (Continuación)

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
SNS Índice	-0,09	1,12	2,37	-1,30
Stress Índice	8,69	3,73	17,37	5,25

Tabla 5-7: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC con el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	4,74	5,95	18,68	0,70
LF%	26,39	17,15	50,13	7,06
HF%	68,80	20,70	92,15	42,72
LF un	28,32	18,97	53,96	7,11
HF un	71,60	18,94	92,79	45,98
VLF log	4,67	0,86	6,33	3,49
LF log	6,63	0,70	7,91	5,80
HF log	7,80	1,05	9,32	6,02
LF ms²	956,61	773,57	2714,53	331,61
HF ms²	3711,95	3492,95	11145,08	411,56
Cociente LF/HF	0,49	0,41	1,17	0,08
PET	4828,41	4079,80	14090,22	963,49

Con el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto, se evidenció un aumento de algunas de las medias de variables del dominio temporal como el RMSSD, el pNN50 y el PNS Índice, al igual que de las medias de variables del componente HF en su expresión tanto logarítmica y porcentual, junto con una disminución del valor del coeficiente LF/HF a $0,24 \pm 0,20$, comparativamente con los valores en supino. Cuando se evaluaron los valores encontrados al momento de realizar el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto, se evidenció una leve disminución de estos en las variables mencionadas anteriormente, tanto del dominio temporal como frecuencial, aun cuando estas se mostraron mayores a las encontradas en posición supina. La media del valor del coeficiente LF/HF aumentó con el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto con respecto a la etapa previa, mostrando valores de $0,49 \pm 0,4$, el cual fue menor que el mostrado en posición supina.

5.2.3 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del cambio postural ortostático (CPO) en LVP

En las tablas 5-8 y 5-9 se muestran los valores de las variables tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los LPV en el CPO.

Tabla 5-8: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en el CPO en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	117,67	4,67	124,88	112,85
FC Mín (lpm)	68,42	7,38	76,55	55,07
FC Prom (lpm)	94,6	8,63	103,26	79,35
Prom RR (ms)	642,92	62,84	756,16	581,05
RMSSD (ms)	34,36	14,11	69,59	20,00
pNN50 (%)	11,62	9,07	32,05	4,85
Índice 30/15	0,92	0,10	1,09	0,8
Delta FC Máx V12-CPO	45,41	9,98	61,46	33,28
Delta FC min V12-CPO	7,20	5,19	15,64	-0,65
Delta FC Prom V12-CPO	27,28	12,39	40,03	5,95
PNS Índice	-1,61	0,67	-0,30	-2,26
SNS Índice	2,22	0,91	3,27	0,59
Stress Índice	11,01	2,51	14,24	7,27

Tabla 5-9: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en el CPO en LVP

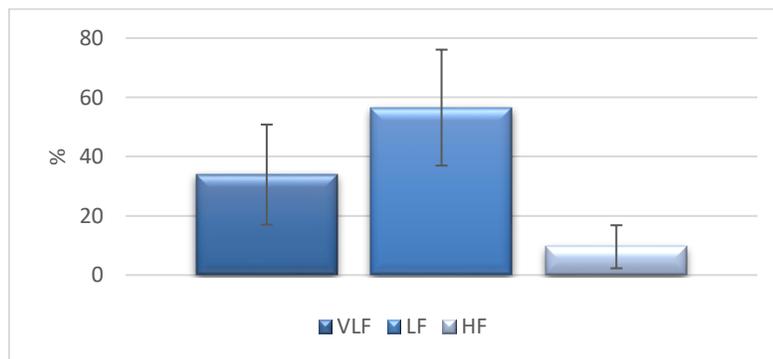
Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	33,91	16,91	59,83	19,41
LF%	56,53	19,57	77,90	20,52
HF%	9,55	7,27	23,07	0,94
LF un	83,86	15,87	98,81	47,07
HF un	16,12	15,87	52,91	1,19
VLF log	6,96	0,93	8,36	5,90

Tabla 5-9: (Continuación)

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
LF log	7,50	1,51	8,77	5,00
HF log	5,46	1,20	6,52	3,15
LF ms ²	3320,25	2547,71	6458,76	147,72
HF ms ²	359,56	257,32	679,41	23,33
Cociente LF/HF	16,43	27,24	83,31	0,89
PET	5194,91	3790,01	9990,63	611,99

En esta etapa se evidenció un aumento de la media de los valores de la frecuencia cardiaca tanto máxima como promedio, alcanzando valores de $117,67 \pm 4,67$ y $94,6 \pm 8,63$ lpm, respectivamente, con una media del delta de la frecuencia cardiaca desde la etapa previa de la prueba de aproximadamente 45 lpm.

Con respecto a las variables del dominio frecuencia, se resalta el comportamiento de las medias de los valores de las variables del componente HF tanto en su expresión logarítmica como porcentual, las cuales mostraron una disminución con respecto a la etapa previa y a la posición en supino. En la gráfica 5-2 se representa el comportamiento de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual. La media del valor del coeficiente LF/HF presentó un aumento de casi 10 veces con respecto a los valores en la etapa de ventilación controlada a 12 ciclos por minuto. Cuando se halló la media de los valores del índice 30/15 se encontraron valores menores a 1 ($0,92 \pm 0,10$).

Gráfica 5-2: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en el CPO.

5.2.4 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa del ortostatismo (ORT) en LVP

En las tablas 5-10 y 5-11 se muestran los valores de las variables tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los LPV en el ORT.

Tabla 5-10: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en el ORT en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	106,05	7,14	115,49	95,24
FC Mín (lpm)	72,712	6,57	79,96	63,02
FC Prom (lpm)	87,70	8,20	97,07	75,53
Prom RR (ms)	689,50	65,82	794,39	618,11
RMSSD (ms)	32,38	15,96	69,07	20,19
pNN50 (%)	11,27	12,23	39,92	2,90
Delta FC Máx CPO-ORT	11,62	6,76	18,77	-1,33
Delta FC Min CPO-ORT	-4,29	8,18	3,38	-17,87
Delta FC Prom CPO-ORT	6,35	5,15	18,17	1,41
PNS Índice	-1,42	0,725	0,12	-2,03
SNS Índice	1,78	0,95	2,79	0,13
Stress Índice	11,08	3,30	15,20	6,05

Tabla 5-11: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en el ORT en LVP

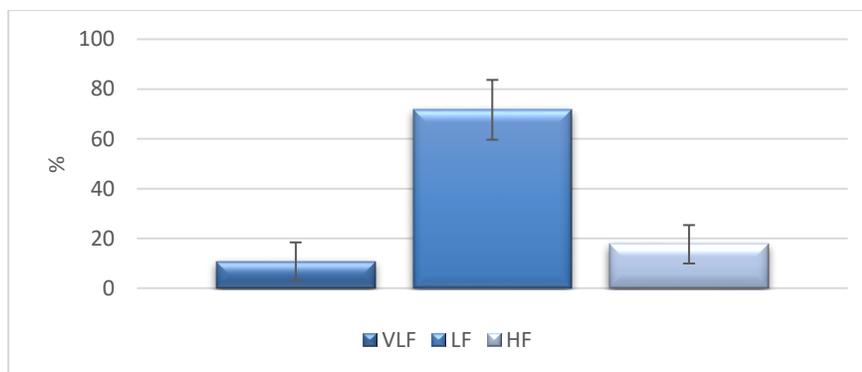
Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	10,68	7,72	25,88	3,05
LF%	71,65	12,02	88,33	54,47
HF%	17,63	7,70	29,91	8,28
LF un	79,94	9,03	91,40	67,13
HF un	20,01	9	32,82	8,57
VLF log	5,29	0,98	6,54	4,00
LF log	7,41	0,73	8,45	6,38

Tabla 5-11: (Continuación)

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
HF log	6,54	5,93	7,38	4,90
LF ms²	2068,16	1457,36	4678,41	592,75
HF ms²	486,97	461,95	1595,99	133,76
Cociente LF/HF	5,27	3,36	10,67	2,05
PET	2852,84	2003,52	6804,82	946,42

En la etapa del ORT, se observó una disminución de la media de los valores de la FC Máx y FC Prom, alcanzando valores de $106,05 \pm 7,14$ y $87,7 \pm 8,2$ lpm, respectivamente, y un leve aumento en las medias de los valores del Stress Índice, alcanzando valores de $11,08 \pm 3,03$. Con respecto a las variables del dominio frecuencial se evidenció un aumento de los valores de las medias del componente HF, acompañado de una disminución de la media del coeficiente LF/HF, con valores de $5,27 \pm 3,36$. En la gráfica 5-3 se representa el comportamiento de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual.

Gráfica 5-3: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en el ORT.



5.2.5 Resultados de los valores de las variables de la VRC en la etapa de recuperación (REC) en LVP

En las tablas 5-12 y 5-13 se muestran los valores de las variables tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los LPV en recuperación.

Tabla 5-12: Variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en recuperación en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
FC Máx (lpm)	89,84	10,92	112,75	78,22
FC Mín (lpm)	57,87	9,72	72,16	46,91
FC Prom (lpm)	68,88	9,08	80,38	59,44
Prom RR (ms)	883,91	111,86	1009,44	746,45
RMSSD (ms)	99,02	50,08	170,37	26,85
pNN50 (%)	46,91	23,12	72,65	5,28
Delta FC Máx SUP-REC	-13,14	14,50	3,19	-32,10
Delta FC min SUP-REC	0,55	6,14	10,02	-7,93
Delta FC Prom SUP-REC	-3,71	6,71	1,86	-14,24
PNS Índice	1,469	1,82	3,96	-1,22
SNS Índice	-0,32	1,13	1,51	-1,37
Stress Índice	6,81	3,55	12,95	4,02

Tabla 5-13: Variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en recuperación en LVP

Variable	Media	DS	Valor Máximo	Valor Mínimo
VLF%	5,59	4,93	16,38	1,09
LF%	41,05	23,43	79,05	8,76
HF%	53,14	24,91	90,04	15,79
LF un	43,83	24,96	83,33	8,86
HF un	55,93	24,91	91,03	16,65
VLF log	5,23	1,13	6,75	4,01
LF log	7,358	1,166	9,40	5,90
HF log	7,67	1,15	8,94	5,48
LF ms²	2903,59	3879,51	12092,31	366,13
HF ms²	3321,00	2817,03	7654,46	239,99
Cociente LF/HF	1,34	1,61	1,91	0,10
PET	655,88	4911,99	15296,93	766,35

En la última etapa, después del primer minuto de recuperación posterior a la realización de sentadillas por 45 segundos, se evidenciaron medias de los valores de la FC Máx y Fc Prom mayores a los encontrados en posición supina, con deltas de $-13,14 \pm 14,50$ y $-3,71 \pm 6,71$ lpm, respectivamente. Con respecto a las variables del dominio temporal y frecuencial, se encontraron valores mayores de pNN50 y PNS Índice a los encontrados en posición supina al igual que valores mayores del componente HF tanto en su expresión logarítmica como en ms^2 . Sin embargo, el componente HF en su expresión porcentual y en u.n mostraron valores menores a los evidenciados en la posición supina, lo cual se muestra en la gráfica xxx. Estos valores estuvieron acompañados de una media del coeficiente LF/HF menor, alcanzando valores de $1,34 \pm 1,61$.

Gráfica 5-4: Comparación de las variables del dominio frecuencial en su expresión porcentual en los LVP en la recuperación y supino.



5.3 Resultados de la comparación de los valores de las variables del dominio temporal y frecuencial de la VRC en cada fase de la prueba de competencia autónoma entre los LVP, los ER y los FI.

Al realizar la comparación mediante el ANOVA y el método LSD de las variables más relevantes tanto del dominio temporal como frecuencial de la VRC de cada etapa de la prueba de competencia autónoma entre LVP, ER y FI, se obtuvieron los siguientes resultados:

5.3.1 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en supino

En las tablas 5-14 y 5-15 se muestran los valores de las variables más relevantes tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los tres grupos comparados en posición supina (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-14: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en posición supina entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Máx (lpm)	63,6±7,2	76,7±12,1	74,7±6,9	0,018
FC Mín (lpm)	49,8±4,7	58,4±9,3	61,1±3,8	0,005
FC Prom (lpm)	55,2±5,9	65,2±8,8	66,4±4,5	0,005
Prom RR (ms)	1097,9±109,6	935,5±128,0	907,9±61,8	0,003
RMSSD (ms)	88,6±27,4	62,8±34,8	52,1±16,5	0,04
pNN50 (%)	60,9±10,5	36,9±23,7	31,9±16,8	0,008
PNS Índice	2,2±1,0	0,7±1,4	0,3±0,6	0,005

Tabla 5-15: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en posición supina entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
VLF (%)	2,7±1,6	4,1±2,3	4,6±2,3	0,206
LF (%)	36,0±18,9	38,8±23,6	27,6±10,6	0,467
HF (%)	61,206±19,4	56,9±24,6	67,7±11,3	0,542
Cociente LF/HF	0,8±0,8	1,4±2,2	0,4±0,2	0,381

En las tablas 5-16 y 5-17 se muestran las comparaciones realizadas entre los tres grupos evaluados mediante el método LSD para el pNN50 y la FC Prom en supino¹.

¹ Las comparaciones Post Hoc con el Método LSD adicionales de las variables en posición supina se muestran en el Anexo A.

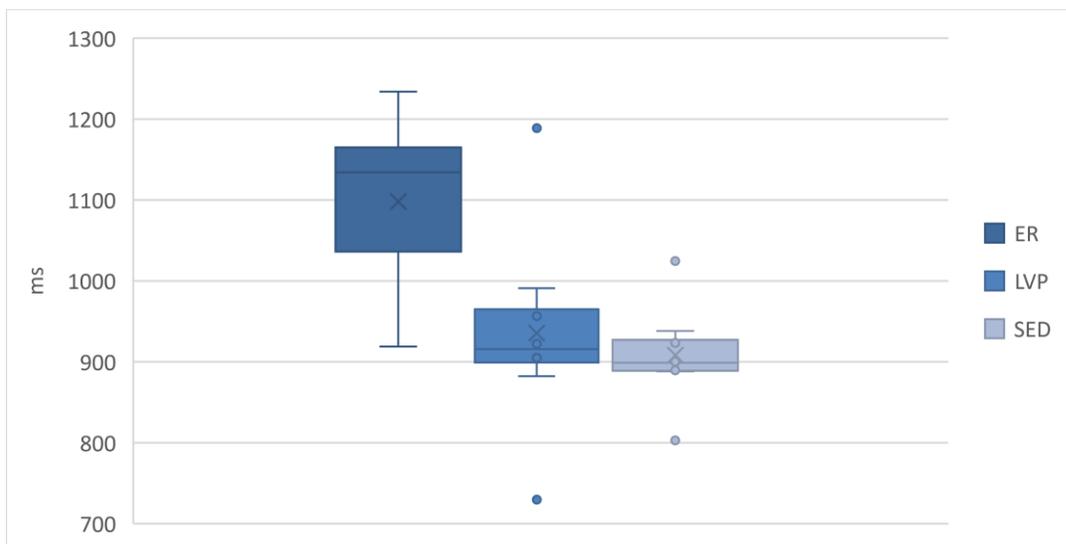
Tabla 5-16: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable pNN50 en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	18,56	24,05	Significativo
ER	FI	18,56	29,05	Significativo
FI	LVP	18,56	5,00	No significativo

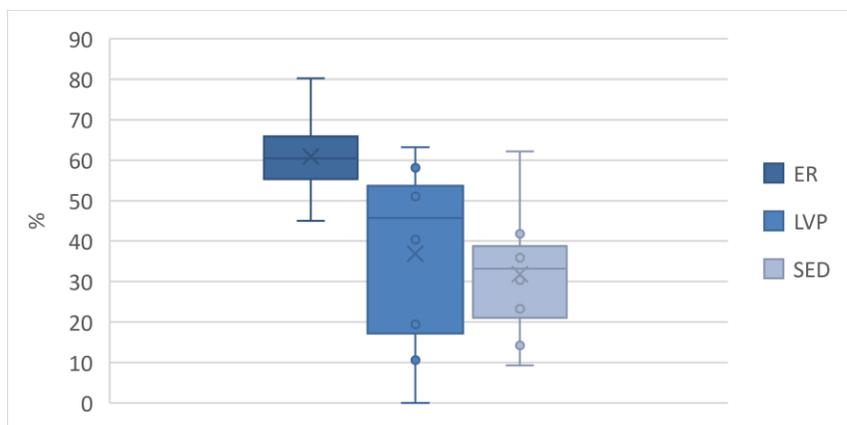
Tabla 5-17: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	6,91	10,01	Significativo
ER	FI	6,91	11,19	Significativo
FI	LVP	6,91	1,18	No significativo

Con respecto al análisis de las variables del dominio temporal en supino se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de las medias de Prom RR, pNN50 y PSN Índice entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI ($p < 0.05$). Los mayores valores fueron observados en los ER, seguidos por los LVP. En las gráficas 5-5 y 5-6 se muestra el comportamiento de las variables del Prom RR y pNN50, respectivamente.

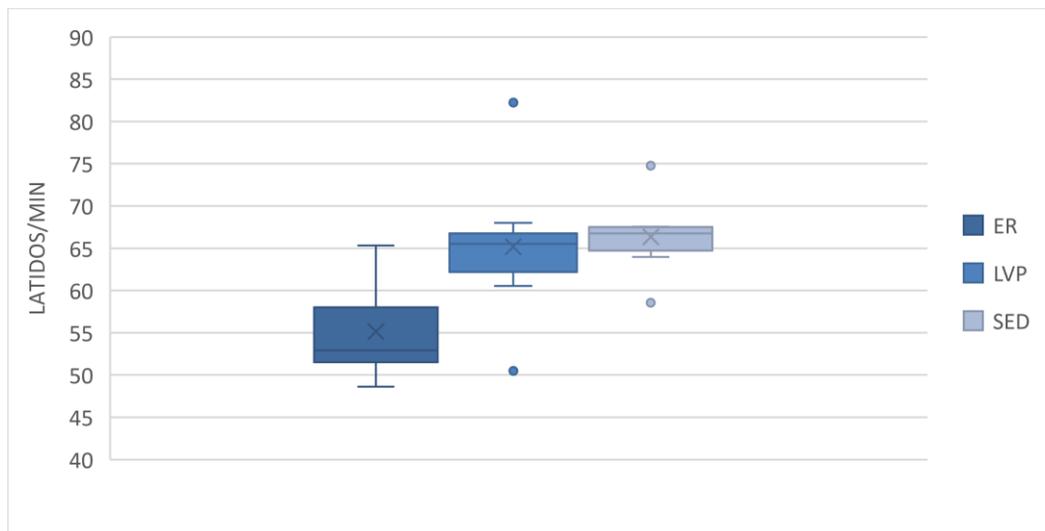
Gráfica 5-5: Comparación de las medias de los valores del Prom RR entre LVP, ER y FI en supino.

Gráfica 5-6: Comparación de las medias de los valores de pNN50 entre LVP, ER y FI en supino.



Un comportamiento parecido se presentó al comparar los valores de las medias de la FC Máx y FC Prom en esta misma posición, con diferencias estadísticamente significativa entre los LVP y los ER, y entre estos y los FI ($p < 0.05$). Los menores valores se encontraron en los ER y los mayores en los FI. En la gráfica xxx se muestra el comportamiento de la FC Prom en los tres grupos comparados. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al realizar las comparaciones de las variables del dominio frecuencial en ninguno de los grupos evaluados.

Gráfica 5-7: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI en supino.



5.3.2 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto

En las tablas 5-18 y 3-19 se muestran los valores de algunas variables tanto del dominio temporal como frecuencial de los tres grupos comparados durante el control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto, respectivamente. (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia)

Tabla 5-18: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante el control de la ventilación a 10 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
PNS Índice VC10	2,39±1,41	1,09±1,26	0,91±0,99	0,052
LF (log) VC10	7,73±0,86	6,66±1,14	6,75±0,67	0,053
SNS Índice VC10	-1,00±0,71	-0,13±0,98	-0,17±0,57	0,06
PNN50 (%) VC10	63,21±12,63	45,80±17,84	49,91±13,91	0,074

Tabla 5-19: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante el control de la ventilación a 12 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
Prom RR (ms)	989,53±102,95	916,37±141,26	858±93,93	0,094
FC Prom (lpm)	61,31±7,48	66,77±9,77	70,59±6,93	0,096
PNS Índice	2,11±1,66	0,87±1,18	0,59±1,36	0,097

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos comparados en las variables del dominio temporal ni del dominio frecuencial. Al observar variables como el PNS Índice se pueden observar valores mayores cuando se controló la ventilación a 10 ciclos por minuto que a 12 ciclos por minuto.

5.3.3 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa CPO

En las tablas 5-20 y 5-21 se muestran los valores de las variables más relevantes tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los tres grupos comparados durante el CPO (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-20: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC durante el CPO entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Máx (lpm)	96,84±9,54	117,67±4,67	107,77±10,31	<0,001
FC Prom (lpm)	70,05±9,84	94,06±8,63	86,43±6,08	<0,001
FC Mín (lpm)	56,84±9,23	68,42±7,38	71,98±6,05	0,002
Índice 30/15	1,55±0,24	0,92±0,10	1,18±0,20	<0,001
Stress Índice	6,61±1,83	11,01±2,51	9,95±2,47	0,003
SNS Índice	-0,04±0,83	2,22±0,92	1,55±0,77	<0,001
Delta FC Máx V12- CPO	29,74±8,89	45,41±9,98	32,10±4,85	0,002
Delta FC min V12- CPO	1,29±8,66	7,20±5,19	6,32±9,43	0,300
Delta FC Prom V12- CPO	8,74±6,46	27,28±12,39	15,84±6,20	0,002

Tabla 5-21: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC durante el CPO entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
HF (log)	6,81±0,98	5,46±1,20	5,66±0,90	0,034
HF (ms ²)	1390,83	359,56	419,45	0,050
Cociente LF/HF	5,23±3,12	16,43±27,24	8,71±6,87	0,390
HF (%)	14,02±8,41	9,55±7,27	11,66±9,26	0,571
VLF (%)	29,93±14,17	33,91±16,91	30,44±6,31	0,809
LF (%)	56,04±12,79	56,53±19,57	57,88±13,49	0,971

En las tablas 5-22, 5-23, 5-24 y 5-25 se muestran las comparaciones realizadas entre los tres grupos evaluados mediante el método LSD para el índice 30/15, el Stress Índice, la FC Máx en el CPO y el delta de la FC Máx desde la etapa previa, respectivamente².

Tabla 5-22: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el índice 30/15 en el CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	0,20	0,64	Significativo
ER	FI	0,20	0,38	Significativo
FI	LVP	0,20	0,26	Significativo

Tabla 5-23: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice en el CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	2,38	4,40	Significativo
ER	FI	2,38	3,34	Significativo
FI	LVP	2,38	1,06	No significativo

Tabla 5-24: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Máx en el CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	8,89	20,83	Significativo
ER	FI	8,89	10,93	Significativo
FI	LVP	8,89	9,90	Significativo

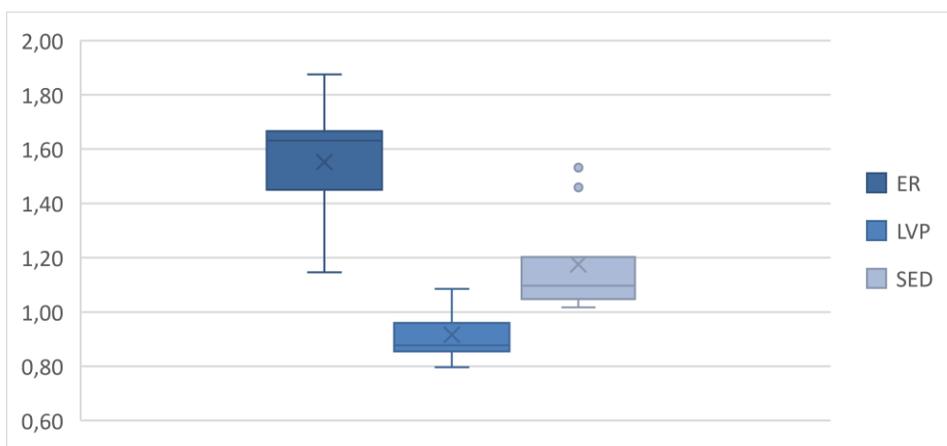
Tabla 5-25: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el delta de la FC Máx durante el CPO y la fase previa (control de la ventilación a 12 ciclos por minuto)

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	8,54	15,67	Significativo
ER	FI	8,54	2,36	No significativo
FI	LVP	8,54	13,31	Significativo

² Las comparaciones Post Hoc con el Método LSD adicionales de las variables en CPO se muestran en el Anexo A.

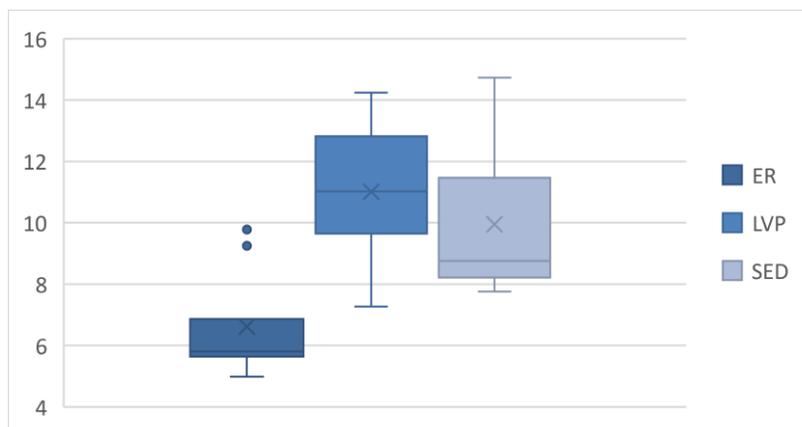
En la etapa del CPO, se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos evaluados cuando se comparó el valor de las medias del índice 30/15, el mayor valor mostrado en los ER, seguido por los FI, con valores menores a 1 en los LVP ($p < 0,01$), lo cual se muestra en la gráfica 5-8.

Gráfica 5-8: Comparación de las medias de los valores del índice 30/15 entre LVP, ER y FI durante el CPO.



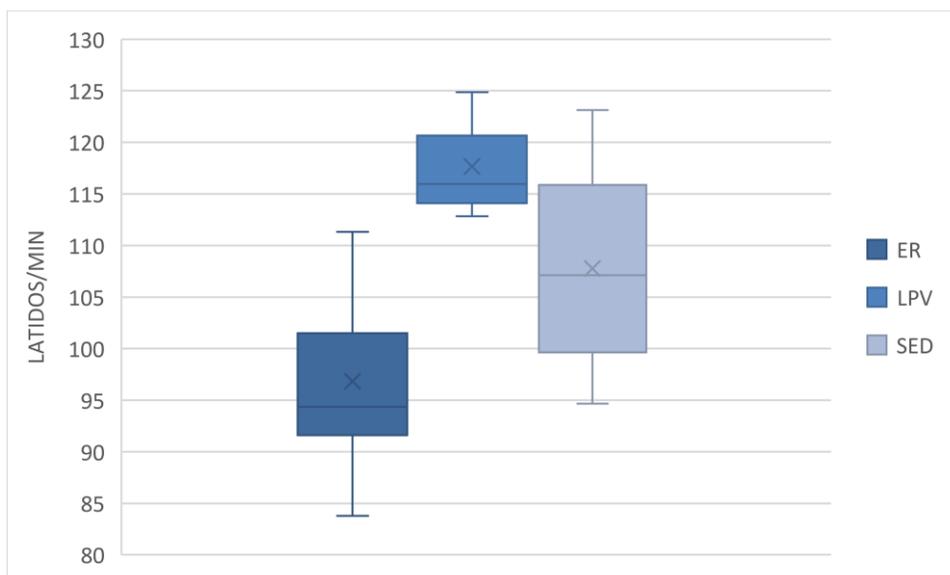
Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores del Stress Índice y el SNS Índice entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI ($p < 0,05$). Los mayores valores fueron encontrados en los LVP, seguido por los FI. En las gráficas 5-9 se muestra el comportamiento del Stress Índice.

Gráfica 5-9: Comparación de las medias de los valores del Stress Índice entre LVP, ER y FI durante el CPO.



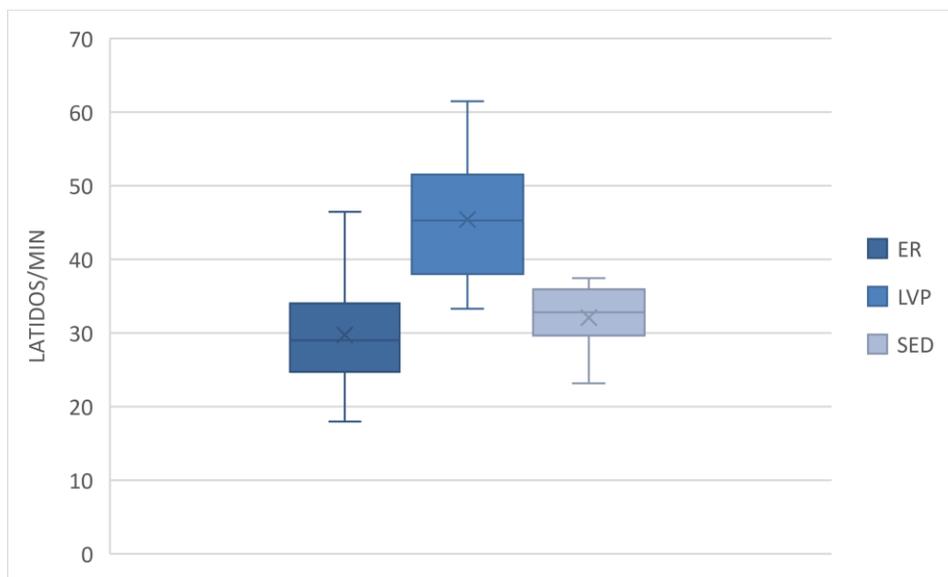
En el análisis de la frecuencia cardiaca en esta etapa de la prueba, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en las medias de la FC Máx en los tres grupos comparados, con los mayores valores encontrados en los LVP, seguido de los FI. Con respecto a las medias de la FC Prom y FC Mín, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI ($p < 0.05$), con medias de FC Prom mayores en los LVP. En las gráficas 5-10 se muestra el comportamiento de la media de los valores de la FC Máx.

Gráfica 5-10: Comparación de las medias de los valores de la FC Máx entre LVP, ER y FI durante el CPO.



Al realizar el delta de las medias de las frecuencias cardiacas máximas y promedio desde la etapa de la ventilación controlada a 12 ciclos por minuto y el CPO se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) entre los ER y los LVP y entre estos últimos y los FI, con los mayores valores encontrados en los LVP, lo cual se puede observar en la gráfica 5-11.

Gráfica 5-11: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Máx entre LVP, ER y FI durante el CPO desde la fase previa (control de la ventilación a 12 ciclos por minuto, V12)



No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al momento de realizar las comparaciones de las variables del dominio frecuencial, con excepción de las medias de los valores del componente HF en su expresión logarítmica y en ms^2 .

5.3.4 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de ORT

En las tablas 5-26 y 5-27 se muestran los valores de las variables más relevantes tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los tres grupos comparados durante el ORT (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-26: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC durante el ORT entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Mín (lpm)	58,142±9,85	72,712±6,57	71,944±1,91	<0,001
FC Máx (lpm)	80,586±17,61	106,045±7,14	95,432±6,62	0,001

Tabla 5-26: (Continuación)

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Prom (lpm)	67,816±14,72	87,704±8,20	83,603±6,05	0,002
SNS Índice	-0,027±1,40	1,777±0,95	1,692±0,44	0,002
Stress Índice	7,983±2,71	11,077±3,30	12,243±0,85	0,008
Delta FC Máx CPO-ORT	16,25±12,59	11,62±6,76	12,34±8,13	0,584
Delta FC Min CPO-ORT	-1,30±6,47	-4,29±8,18	0,033±6,30	0,466
Delta FC Prom CPO-ORT	2,23±7,01	6,35±5,15	2,83±4,27	0,302

Tabla 5-27: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC durante el ORT entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
LF (log)	7,752±0,71	7,411±0,73	6,79±0,50	0,024
Cociente LF/HF	3,732±1,34	5,266±3,36	6,453±6,03	0,42
VLF (%)	7,876±3,60	10,678±7,71	11,857±6,87	0,446
HF (%)	22,066±11,18	17,625±7,70	19,214±13,60	0,723
LF (%)	70,032±11,41	71,648±12,02	68,899±14,58	0,911

En las tablas 5-28, 5-29 y 5-30 se muestran las comparaciones realizadas entre los tres grupos evaluados mediante el método LSD para el Stress Índice, el SNS Índice y la FC Prom en el ORT, respectivamente³.

Tabla 5-28: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice durante el ORT

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	2,61	3,09	Significativo
ER	FI	2,61	4,26	Significativo
FI	LVP	2,61	1,17	No significativo

³ Las comparaciones Post Hoc con el Método LSD adicionales de las variables en ORT se muestran en el Anexo A.

Tabla 5-29: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el SNS Índice máxima durante el ORT

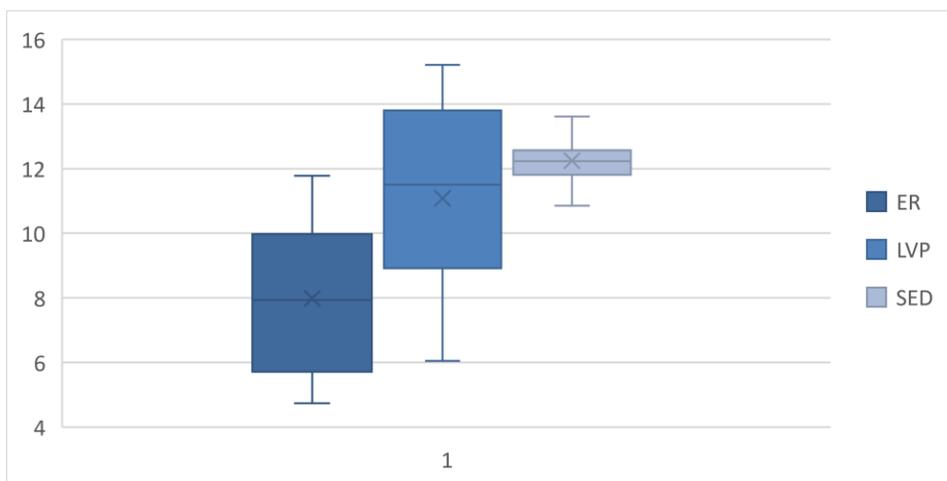
Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	1,05	1,80	Significativo
ER	FI	1,05	1,72	Significativo
FI	LVP	1,05	0,08	No significativo

Tabla 5-30: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom durante el ORT

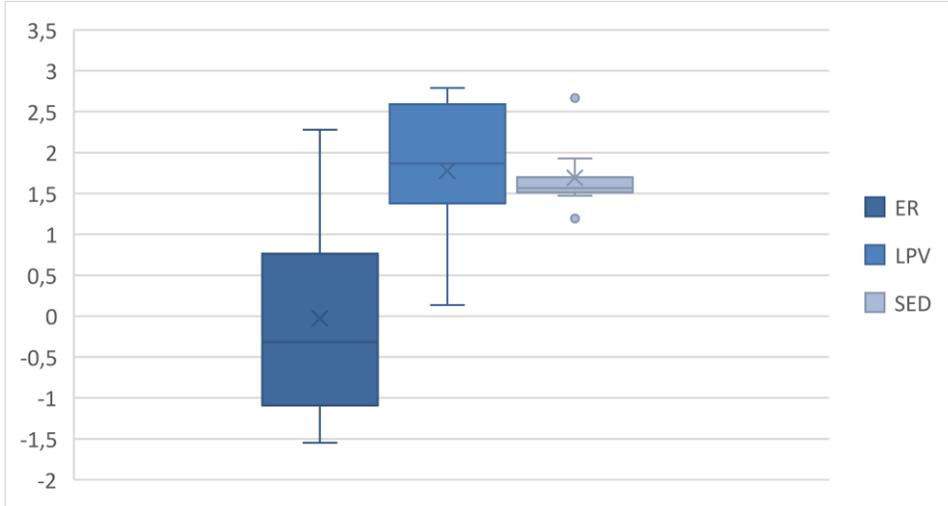
Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	10,75	19,89	Significativo
ER	FI	10,75	15,79	No significativo
FI	LVP	10,75	4,10	Significativo

Con respecto al análisis de las variables del dominio temporal en el ORT se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de las medias del Stress Índice y el SNS Índice entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI ($p < 0.05$). Los mayores valores fueron observados en los LVP, seguidos por los FI, en el caso del Stress Índice. En el caso del SNS Índice, los mayores valores fueron hallados en los FI, seguido por los LVP. El comportamiento de estas variables se evidencia en las gráficas 5-12 y 5-13.

Gráfica 5-12: Comparación de las medias de los valores del Stress Índice entre LVP, ER y FI durante el ORT.

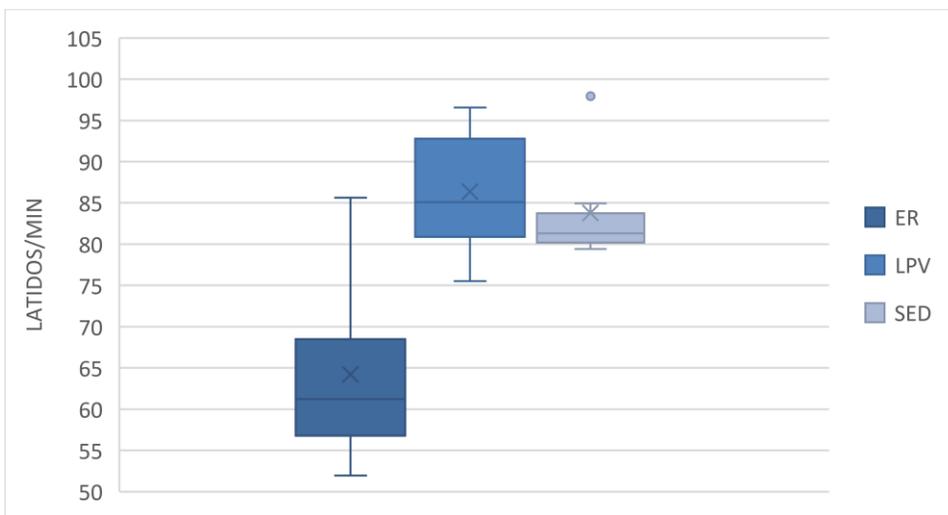


Gráfica 5-13: Comparación de las medias de los valores del SNS Índice entre LVP, ER y FI durante el ORT.



Un comportamiento parecido se presentó al comparar los valores de las medias de la FC Máx, promedio y mínima en esta misma posición, con diferencias estadísticamente significativa entre los LVP y los ER, y entre estos y los FI. Los mayores valores se encontraron en los LVP y los menores en los ER. El comportamiento de la FC Prom se evidencia en la gráfica 5-14.

Gráfica 5-14: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI durante el ORT.



No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al valorar las medias de los deltas de las frecuencias cardiacas máximas, promedio y mínimas desde el CPO al ORT en los tres grupos evaluados. No se encontraron tampoco diferencias estadísticamente significativas al realizar las comparaciones de las variables del dominio frecuencial en ninguno de los grupos evaluados, excepto en la expresión logarítmica de las medias del componente LF.

5.3.5 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de realización de medias sentadillas por 45 segundos

En las tablas 5-31 se muestra los valores de algunas variables tanto del dominio temporal como frecuencial de los tres grupos comparados durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-31: Comparación de las variables del dominio temporal y frecuencial del análisis de la VRC durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Máx (lpm)	118,77±12,08	130,31±8,22	140,46±16,90	0,011
Stress Índice	21,45±10,30	32,52±9,86	39,943±16,042	0,023
Delta FC Máx de ORT-sentadillas	38,18±14,33	24,26±7,43	45,02±16,52	0,016
Delta FC Máx SUP- CPO	33,26±7,56	40,97±11,23	33,10±5,16	0,123
Delta FC Máx V12- CPO	29,74±8,89	45,41±9,98	32,10±4,85	0,002

En las tablas 5-32 y 5-33 se muestran las comparaciones realizadas entre los tres grupos evaluados mediante el método LSD para el Stress Índice y el delta de la FC Máx en la etapa de realización de medias sentadillas, respectivamente⁴.

⁴ Las comparaciones Post Hoc con el Método LSD adicionales de las variables durante la realización de medias sentadillas se muestran en el Anexo A.

Tabla 5-32: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el Stress Índice durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos

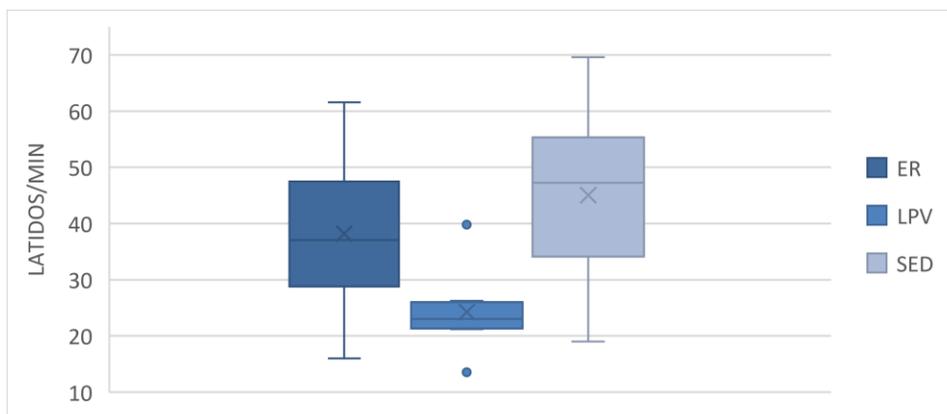
Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	12,89	11,07	No significativo
ER	FI	12,89	18,49	Significativo
FI	LVP	12,89	7,42	No significativo

Tabla 5-33: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para las medias de los valores del delta de la FC Máx durante la realización de medias sentadillas durante 45 segundos.

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	13,86	13,92	Significativo
ER	FI	13,86	6,84	No significativo
FI	LVP	13,86	20,76	Significativo

En la etapa de la realización de las sentadillas se evaluaron variables como las medias de las frecuencias cardiacas máximas y del Stress Índice, en las cuales solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los ER y los FI, con los mayores valores encontrados en los FI ($p < 0.01$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las medias de los deltas de la FC Máx del ORT a la realización de sentadillas entre los ER y los LVP y entre estos últimos y los FI, encontrando los menores valores en los LVP, lo cual se muestra en la gráfica 5-15.

Gráfica 5-15: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Máx entre LVP, ER y FI desde el ORT a la realización de medias sentadillas por 45 segundos (SEN).



5.3.6 Resultados de la comparación de los valores de las variables de la VRC en recuperación después de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos

En las tablas 5-34 y 5-35 se muestran los valores de las variables más relevantes tanto del dominio temporal como frecuencial, respectivamente de los tres grupos comparados desde el minuto 1 de recuperación después de la realización medias sentadillas por 45 segundos y durante 4 minutos (valor de $p < 0,05$ como nivel crítico de significancia).

Tabla 5-34: Comparación de las variables del dominio temporal y derivados del análisis de la VRC en recuperación entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
FC Máx (lpm)	61,817±7,14	89,839±10,92	87,271±11,40	<0,001
FC Prom (lpm)	52,916±3,78	68,884±9,08	73,16±8,76	<0,001
FC Mín (lpm)	47,921±3,45	57,873±9,72	65,251±8,38	0,001
PNS Índice	3,017±1,20	1,469±1,82	0,44±0,77	0,003
pNN50 (%)	66,485±10,81	46,909±23,12	45,425±12,24	0,031
RMSSD (ms)	110,796±38,32	99,018±50,08	69,201±17,77	0,100
Delta FC Máx. SUP-REC2	1,76±3,20	-13,14±14,50	-12,60±7,23	0,007
Delta FC min SUP-REC2	1,89±2,70	0,55±6,14	-4,17±4,81	0,049
Delta FC Prom SUP-REC2	2,24±2,62	-3,71±6,671	-6,81±4,68	0,005

Tabla 5-35: Comparación de las variables del dominio frecuencial del análisis de la VRC en recuperación entre LVP, ER y FI.

Variable	ER	LVP	FI	Valor de p
Cociente LF/HF	0,456±0,21	1,338±1,61	0,454±0,23	0,125
HF (%)	67,295±10,87	53,136±24,91	67,576±9,23	0,162
LF (%)	28,67±8,98	41,048±23,43	28,89±9,21	0,209

En las tablas 5-36, 5-37 y 5-38 se muestran las comparaciones realizadas entre los tres grupos evaluados mediante el método LSD para el PNN50, la FC Prom y el delta de la FC Prom en la etapa de recuperación, respectivamente⁵.

Tabla 5-36: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable PNN50 en recuperación

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	16,99	19,58	Significativo
ER	FI	16,99	21,06	Significativo
FI	LVP	16,99	1,48	No significativo

Tabla 5-37: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la FC Prom en recuperación

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	7,91	15,97	Significativo
ER	FI	7,91	20,24	Significativo
FI	LVP	7,91	4,28	No significativo

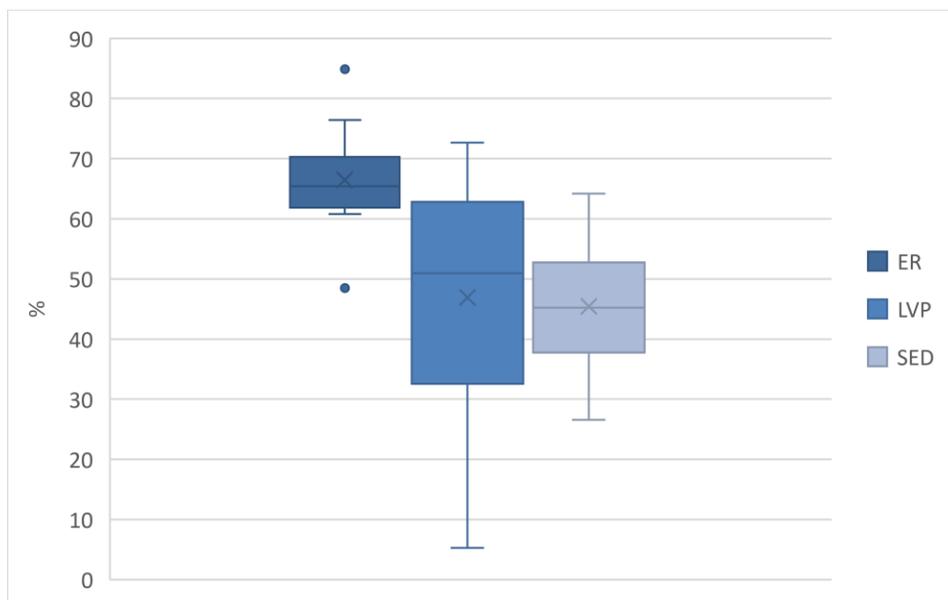
Tabla 5-38: Comparaciones Post Hoc con Método LSD para el delta de la FC Prom en recuperación

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	5,16	5,95	Significativo
ER	FI	5,16	9,05	Significativo
FI	LVP	5,16	3,10	No significativo

En esta etapa, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de las medias de Prom RR, PNN50 y PSN index entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI ($p < 0.5$). Los mayores valores fueron observados en los ER, seguidos por los LVP. El comportamiento de las medias de los valores del PNN50 se puede evidenciar en la gráfica 5-16.

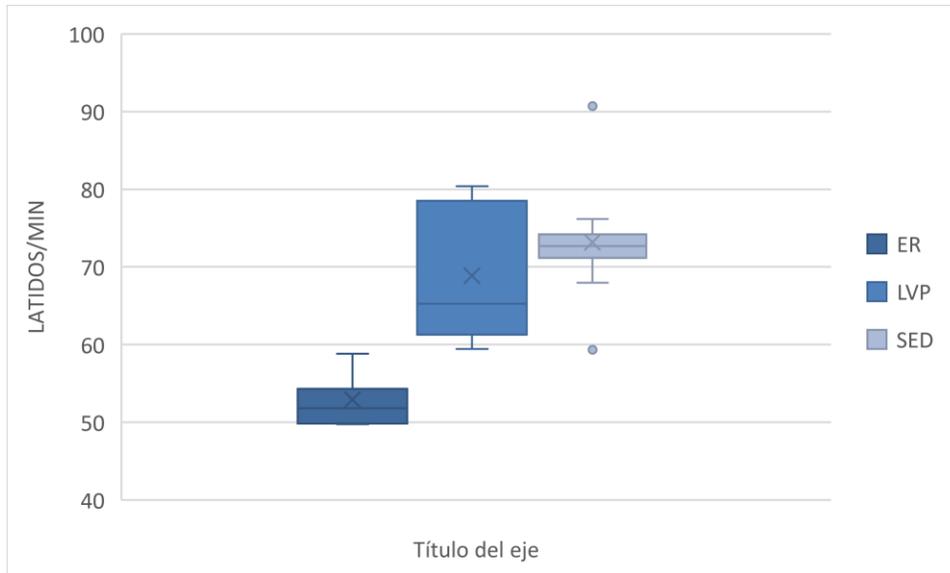
⁵ Las comparaciones Post Hoc con el Método LSD adicionales de las variables en recuperación se muestran en el Anexo A.

Gráfica 5-16: Comparación de las medias de los valores del PNN50 entre LVP, ER y FI d en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos.

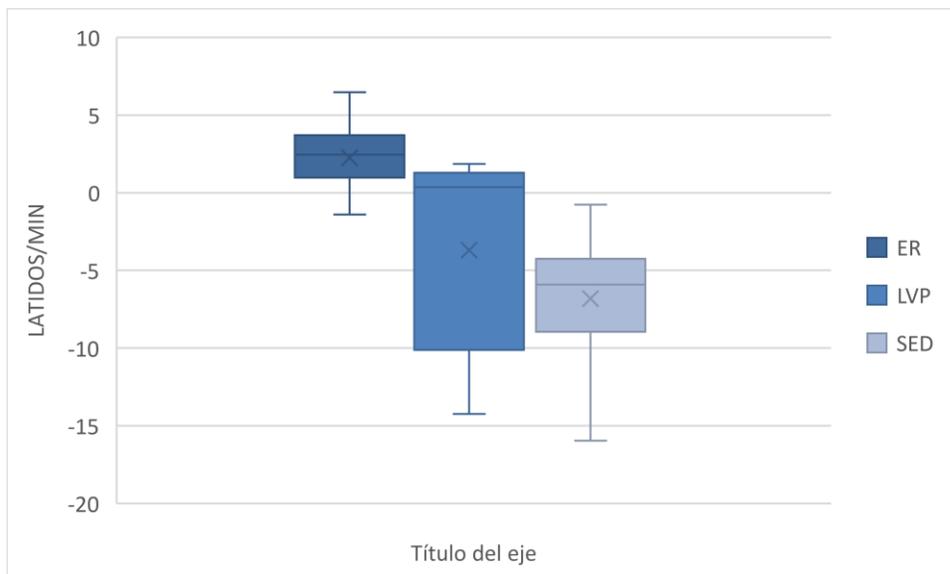


Un comportamiento parecido se presentó al comparar los valores de las medias de la FC Máx, FC Mín y FC Prom en esta misma etapa, con diferencias estadísticamente significativa entre los LVP y los ER, y entre estos y los FI. Los menores valores se encontraron en los ER y los mayores en los FI. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las medias de los deltas de la FC Máx y FC Prom del supino y la recuperación entre los ER y los LVP y entre estos últimos y los FI, encontrando los mayores valores en los ER, seguido de los LVP. El comportamiento de las medias de los valores de la FC Prom y del delta de la FC Prom se puede evidenciar en la gráfica 5-17 y 5-18, respectivamente.

Gráfica 5-17: Comparación de las medias de los valores de la FC Prom entre LVP, ER y FI en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos.



Gráfica 5-18: Comparación de las medias de los valores de los deltas de la FC Prom entre LVP, ER y FI en recuperación después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos.



No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al realizar las comparaciones de las variables del dominio frecuencial en ninguno de los grupos evaluados.

6. Discusión

6.1 Características de la población

Dada la influencia que tiene la edad, el sexo y el peso en el comportamiento de la VRC(Aubert et al., 2003), es importante resaltar la homogeneidad de estas características en los diferentes grupos evaluados en este estudio, lo que hace que el análisis de los datos dependa de variables adicionales diferentes a estas características poblacionales (Voss et al., 2015).

De igual forma, todos los sujetos evaluados en estos grupos tenían una estancia en altura lo suficientemente prolongada como para no considerar a esta variable y a un posible proceso de aclimatación a la misma como un condicionante del comportamiento de la VRC en estos grupos (los ER y los sujetos físicamente inactivos son residentes en altura y los levantadores de pesas tenían una estancia de aproximadamente 4 semanas en altura) (Sinex & Chapman, 2015)(Plews et al., 2013)

Con respecto al tiempo que llevaban practicando sus deportes tanto en el grupo de los ER como de los LVP, estas dos poblaciones tenían edades competitivas en el momento de las mediciones mayores a 4 años, por lo que los hallazgos presentados podrían considerarse representativos de las adaptaciones a largo plazo, propias del entrenamiento en cada modalidad deportiva.

6.2 Etapa en posición supina

6.2.1 Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en posición supina en LVP

En la primera etapa de la prueba de función autonómica, donde se evaluó a los LVP en posición supina, se pudo identificar una tendencia hacia el predominio del tono parasimpático, lo que se puede soportar con la observación de variables porcentuales y en unidades normalizadas de HF en el dominio frecuencial, cuando estas fueron comparadas con los valores de LF, los cuales son menores, aun cuando los valores de las variables de LF no reflejan exclusivamente el comportamiento del sistema nervioso simpático.

Al comparar los resultados de las medias de los valores de los componentes LF y HF en unidades normalizadas y los valores de la relación LF/HF en supino con un estudio realizado en 2019 en Italia con 9 atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas que midió la respuesta autonómica de estos atletas en reposo, se pueden encontrar valores basales similares (Iellamo et al., 2019). En el estudio antes mencionado no se analizaron variables del dominio temporal. En el momento no se conocen otros estudios en los que se haya caracterizado el comportamiento autonómico de este tipo de población de alto rendimiento.

6.2.2 Comparación de los valores de las variables de la VRC en supino entre LVP, ER y FI

Al realizar la comparación de las variables de la VRC en decúbito supino del dominio frecuencial y temporal de los ER y FI con respecto a los LVP, llama la atención el comportamiento de las variables que definen comúnmente el tono parasimpático como la media de los intervalos RR, el pNN50 y el PSN index, dónde se pudo observar diferencias significativas entre los valores de los LVP y los ER y entre estos últimos y FI. Los valores más altos fueron encontrados en los ER a comparación de los FI y los LVP, pero estos últimos tuvieron valores mayores a los FI, aun cuando esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Otra variable que da razón del comportamiento del tono del SNP es el RMSSD, la cual mostró un comportamiento similar al descrito anteriormente, donde los LVP muestran valores menores a los ER, pero mayores con respecto a los de los pacientes físicamente inactivos, sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

En concordancia con el comportamiento de las variables del dominio temporal antes mencionadas que describen el tono parasimpático, las medias de la frecuencia cardíaca promedio en esta parte de la prueba muestran rangos de bradicardia en los ER a diferencia de los LVP y FI, quienes tienen valores significativamente más altos. Adicionalmente, se pudo observar valores menores de la media de la frecuencia cardíaca promedio en reposo en los LVP, comparativamente con los individuos FI, sin embargo, este hallazgo no fue estadísticamente significativo.

Lo encontrado en esta fase de la prueba autonómica está en concordancia con lo hallado en la literatura, donde se han reportado diferencias estadísticamente significativas en variables del dominio temporal como el pNN50, el SDNN y el RMSSD entre estas tres poblaciones en reposo, con los mayores valores encontrados en el grupo de los ER y los menores valores en físicamente inactivos, con edades comprendidas entre los 16 y los 31 años, aun cuando se controló la respiración a 15 ciclos por minuto (Gallo et al., 2001). En este estudio también se encontraron valores menores de FC Prom basal estadísticamente significativos en los ER en rangos de bradicardia.

Este comportamiento de las variables de la VRC en el dominio temporal en reposo y supino podría estar relacionadas con el acondicionamiento cardiovascular que tienen los atletas de resistencia, que les permite tener valores más altos de consumo máximo de oxígeno comparativamente con los LVP y los FI (Brown et al., 2006) y, además, un mayor tono parasimpático. lo cual está descrito en la literatura (Bonaduce et al., 1998; A. L.T. Uusitalo et al., 1996).

El hallazgo de la menor FC Prom de los LVP, comparado con los FI, pero sin diferencias estadísticamente significativas ya se había observado en otros estudios (Baggish & Wood, 2011). Una revisión sistemática (Bhati et al., 2019) que evaluó el efecto del entrenamiento de fuerza en el control autonómico en sujetos sanos reportó que, en general, los estudios

de intervención no sugieren que este tipo de entrenamiento tenga algún efecto en el control autonómico. Sin embargo, esto puede estar relacionado con la inexistencia de alteraciones autonómicas en la población utilizada para los estudios, lo que dificulta apreciar la magnitud de los cambios post intervención, y con que no se incluyeron estudios en los que la población fueran atletas de alto rendimiento en levantamiento de pesas. Aun cuando estos atletas no tienen el mismo nivel de acondicionamiento cardiovascular que tienen los ER, se ha descrito en algunos estudios un posible impacto del entrenamiento de fuerza en el aumento de la actividad vagal en reposo (Barbosa et al., 2014) que podría explicar las diferencias en los valores del dominio temporal entre FI y los LVP, aun cuando no sean significativas.

En el dominio frecuencial no se encontraron variables que tuvieran diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos evaluados, con excepción de la variable de las medias de LF en su expresión logarítmica y en m^2 entre los ER y los FI, donde estos últimos presentan los menores valores y los ER los mayores valores. Aun cuando esta variable se ha relacionado con la acción del sistema nervioso simpático, puede estar influenciada por los dos sistemas, lo que explicaría su comportamiento en este estudio.

En dos estudios en los que se compararon las variables del dominio frecuencial en reposo de grupos similares a los evaluados en este estudio, tampoco se encontraron diferencias significativas de en los componentes HF y LF (Gallo et al., 2001; Ortiz Guzmán et al., 2012).

Algunos estudios en los que no se hace control de la ventilación, muestran un aumento en los valores del componente HF (Bonaduce et al., 1998; Dixon et al., 1992; Macor et al., 1996; Shin et al., 1997) y una disminución en los del componente LF (Dixon et al., 1992; Janssen et al., 1993) y de la relación LF/HF (Dixon et al., 1992) en los deportistas principalmente entrenados en resistencia comparados con los físicamente inactivos. Otros autores no muestran diferencias entre estos dos grupos en el componente LF (Dixon et al., 1992; Macor et al., 1996; Shin et al., 1997), ni en la relación LF/HF (Dixon et al., 1992; Macor et al., 1996).

Como posible explicación para estos hallazgos y para el comportamiento de la frecuencia cardíaca en estas poblaciones se ha sugerido que las adaptaciones cardiovasculares a largo plazo que puede brindar el ejercicio tanto de resistencia como de fuerza están principalmente relacionadas con cambios intrínsecos a nivel cardíaco y en menor medida a las modificaciones producidas en el control autonómico, posiblemente más notables en intervenciones a corto plazo (Aubert et al., 2003; Gallo et al., 2001; Ortiz Guzmán et al., 2012).

Cabe resaltar que en el estudio del 2001 se realizó control de la ventilación a 15 ciclos por minuto, lo cual resaltan en este trabajo como uno de los motivos por los cuales no se encontraron diferencias significativas en estas variables. Se menciona que es posible que las adaptaciones producidas por los diferentes tipos de entrenamientos se hayan dado a nivel de centros cerebrales superiores que controlan tanto la frecuencia cardíaca como la respiratoria y que, al ejercer un control sobre la ventilación, las diferencias existentes podrían desaparecer (Gallo et al., 2001).

Se debe tener presente que un motivo adicional por el cual en el actual estudio no se reportan diferencias significativas en el análisis del dominio frecuencial puede deberse a un error tipo II, ya que la importancia de las diferencias de las medias del componente HF expresados en forma logarítmica y en ms^2 está por encima del 0,8.

También se debe tener en cuenta que un aspecto que podría interpretarse como un sesgo para la interpretación de los datos es que no se cuenta con los datos acerca de la fase del entrenamiento en la cual se encontraban los ER seleccionados para este estudio, teniendo en cuenta que altas cargas de entrenamiento acumuladas pueden tener influencia en el comportamiento de los componentes LF y HF, aumentando y disminuyendo su valor, respectivamente (Iellamo et al., 2019; Martinelli et al., 2005)

6.3 Etapa con control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto

6.3.1 Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y 12 ciclos por minuto en LVP

Los valores obtenidos en el momento de la realización del control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto muestra una posible modulación parasimpática mayor cuando se sugiere una ventilación controlada a 10 ciclos por minuto, lo que se ve reflejado en el comportamiento de ciertas variables del dominio temporal como el pNN50, cuyo valor es mayor en esta fase de la prueba que a 12 ciclos por minuto, al igual que los valores en el dominio frecuencial de HF tanto en su expresión logarítmica y en ms^2 , como en porcentaje. Esta tendencia también puede observarse con el índice LF/HF, cuyo valor es menor cuando se controla la ventilación a 10 ciclos por minuto, sugiriendo una reactividad parasimpática mayor que cuando se propone una ventilación a esta cadencia.

6.3.2 Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto entre LVP, ER y FI

Al realizar la comparación de las variables tanto del dominio temporal como del dominio frecuencial en la parte de la prueba donde se realizó un control de la ventilación a 10 y a 12 ciclos por minuto, no se encontró diferencias significativas entre los valores de las variables de los tres grupos comparados. Sin embargo, se puede identificar una tendencia a considerar como mejor estímulo de la modulación parasimpática al control de la ventilación a 10 ciclos para los tres grupos, lo cual se puede observar en índices como el PNS Índice, que tienen un valor mayor al controlar la respiración a 12 ciclos comparativamente con los valores en supino, pero aún mayor al controlar la ventilación a 10 ciclos.

Este hallazgo coincide con lo encontrado en otros estudios (Russo et al., 2017) donde se ha encontrado que lograr una ventilación de 6 a 10 respiraciones por minuto, generando un aumento del volumen corriente por activación diafragmática, puede aumentar la actividad vagal (Chang et al., 2013; Zhang et al., 1997), y virar el comportamiento de la VRC hacia una dominancia parasimpática en sujetos de mediana edad (Pal et al., 2004). Como se mencionó anteriormente, uno de los motivos por los cuales es posible que no se hayan encontrado diferencias significativas en estas variables en los tres grupos comparados puede ser que el control de la ventilación puede enmascarar las manifestaciones autonómicas producidas por los diferentes tipos de entrenamiento, ya sea de fuerza o de resistencia (Gallo et al., 2001). Cabe mencionar también la posibilidad de estar frente a un error de tipo II dado que la importancia de las diferencias es menor a 0,95.

6.4 Etapa del CPO

6.4.1 Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del CPO en LVP

En los datos pertenecientes al momento de la prueba en el que se realiza el CPO, se evidenció un viraje hacia un comportamiento autonómico de predominio simpático, soportado con la presencia de taquicardia, con un cambio de 45 latidos aproximadamente entre los valores medios de la FC Máx registrada en todos las desde la fase previa.

Adicional a esto, se pueden observar variables como la media de los datos del índice LF/HF que presenta un valor aproximadamente 10 veces mayor con respecto a los valores en posición supina, y el aumento del Stress Index, mostrando una reactividad de este sistema compensatoria ante el estrés generado por el cambio a posición de pie. El promedio de los valores del índice 30/15, variable que tiene como objetivo caracterizar la respuesta moduladora del sistema nervioso parasimpático ante el cambio postural ortostático, es inferior a 1.

6.4.2 Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del CPO entre LVP, ER y FI

En el CPO se evidencia una diferencia significativa entre los valores del índice 30/15 de los LVP en comparación con los otros dos grupos evaluados, donde tanto los FI como los ER tienen índices mayores a 1,04 y los LVP menor que 1. Aun cuando en pacientes con diabetes y otras enfermedades crónicas, el índice 30/15 se ha sugerido como herramienta para el diagnóstico temprano de neuropatía autonómica, principalmente relacionada con la modulación del SNP (con índices menores a 1)(Collado Márquez et al., 2008; Vinik et al., 2003), en los LVP podría sugerir la existencia de una reactividad del SNS particular, la cual pareciera prolongarse más en el tiempo, a comparación de los ER y los FI.

Adicional a esta característica diferencial, la magnitud de la reactividad simpática también parece tener una diferencia entre los LVP y los dos grupos de comparación, lo cual se ve reflejado en los valores del Stress Índice y el SNS Índice, siendo el valor de esta variable significativamente mayor que en los ER y mayor en los físicamente inactivos sin significancia estadística.

Este comportamiento del sistema nervioso simpático parece ser coherente con los requerimientos fisiológicos del levantador de pesas para la realización del gesto deportivo tanto en arranque como en envión. Estos dos movimientos parten de una sentadilla profunda y continúan con la bipedestación y el sostenimiento de la barra con los pesos, ya sea con los brazos totalmente extendidos y el peso sobre la cabeza como ocurre en el arranque o sobre los hombros y la región escapular como sucede en el envión, previo a la realización de la tijera y el levantamiento del peso sobre la cabeza en este movimiento.

Esta activación simpática diferencial podría ser técnicamente necesaria para coordinar una rápida activación muscular que permita ejecutar todas las fases del movimiento y dar respuesta al cambio postural y a la modificación del retorno venoso. Así mismo, esta respuesta simpática podría utilizarse para mantener la isometría y que el movimiento sea válido posterior a la realización de estas dos modalidades de levantamiento olímpico.

Dado que en esta fase de la prueba de función autonómica se precipita la exposición a un estrés ortostático posterior al cambio postural, lo cual es un elemento clave en el levantamiento de pesas, y teniendo en cuenta los hallazgos encontrados en el presente estudio, se podría sugerirse la utilización del análisis de la VRC en el CPO en estudios analíticos posteriores para determinar su utilidad en la monitorización del entrenamiento y la posible presencia de adaptaciones específicas del deporte en los levantadores de pesas.

En un estudio realizado en 2019 en la Universidad Nacional de Colombia por parte de la especialidad de Medicina del Deporte (Alejandra et al., 2019) se evaluaron 13 atletas profesionales de fútbol femenino, en quienes se realizó un análisis de la VRC en posición supina desde el CPO con una posterior correlación con variables obtenidas de una prueba de fuerza máxima realizada con el LPT en media sentadilla a esta misma población. Se encontró una correlación positiva entre la velocidad media propulsiva y la aceleración media a la máxima velocidad con el Stress Índice. Estas dos variables son muy importantes ya que reflejan la fase de propulsión y dejan de lado la fase de desaceleración del movimiento. Ha sido difícil interpretar las variables de actividad simpática en la VRC; la variable LF se ha relacionado con la activación simpática, pero al ser una variable de componentes mixtos, no es exclusiva de esta activación. Sin embargo, el Stress Índice se ha utilizado para medir niveles de fatiga cuando existe una dominancia del SNS. Con este estudio se propuso la utilización de este índice como herramienta para reflejar el comportamiento de la activación simpática y para la monitorización de los procesos de entrenamiento.

Dicho esto, y teniendo en cuenta la caracterización descrita en el presente estudio, se podría sugerir la utilización del Stress Índice para evaluar las adaptaciones neurovegetativas simpáticas en los LVP y la realización de estudios adicionales donde se busque determinar la correlación de esta variable con el rendimiento y la efectividad de la realización del gesto deportivo.

En el caso del análisis de las medias de la FC Máx y FC Prom se encontró un mayor valor en los LVP comparado con los otros dos grupos evaluados. En relación con la FC Máx alcanzada en el periodo del CPO se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos evaluados, mientras que en el análisis de la frecuencia cardiaca media se encontró

una diferencia estadísticamente significativa entre los ER y no significativa con los FI. Un comportamiento similar se encontró al analizar los deltas de FC Máx y media desde la fase de la prueba en la que se controló la ventilación a 12 ciclos por minuto al CPO, hallando diferencias estadísticamente significativas entre los ER y los LVP y entre estos últimos y los FI. El comportamiento de estas variables podría tener concordancia con la mayor magnitud de la reactividad del sistema nervioso simpático que se mencionó anteriormente durante el CPO. No se conoce hasta el momento ningún estudio en el que se hayan analizado estas variables en población de alto rendimiento de levantamiento de pesas por lo que se requiere de más investigaciones para corroborar esta información.

Las diferencias de las variables del dominio frecuencial entre los tres grupos no resultaron ser estadísticamente significativas, con excepción de la variable HF expresada de forma logarítmica y en ms^2 . Sin embargo, estas variables son difícilmente interpretables en esta fase de la prueba ya que se busca observar el comportamiento de la reactividad simpática de los individuos a este nivel.

6.5 Etapa del ORT

6.5.1 Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa del ORT en LVP

En el ortostatismo, las medias de las variables evaluadas muestran un mantenimiento del tono simpático en respuesta a la persistencia de la posición en bipedestación, lo que se puede ver en el mantenimiento de los valores en el Stress Índice. En este punto, podría decirse que el sistema nervioso parasimpático está intentando modular la respuesta simpática desencadenada en la etapa previa, dado el aumento del valor de las variables del componente HF a nivel porcentual, en u.n y en ms^2 con respecto al CPO. Por su parte, el índice LF/HF muestra un comportamiento tendiente a la disminución, aun cuando el componente LF es mixto, lo cual es coherente con el aumento de la modulación parasimpática antes descrita.

6.5.2 Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa del ORT entre LVP, ER y FI

Después de la realización del análisis comparativo de las variables del dominio temporal en ORT en los tres grupos evaluados, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en los valores del Stress Índice entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y FI. Hubo un aumento de su valor en los atletas de ER y en los FI mientras que en los LVP se mantuvo este valor en el tiempo en que se sostuvo el ORT con respecto al CPO.

El comportamiento esperado durante el CPO y el ORT en sujetos sanos es que estos estímulos realicen una activación del SNS y una retirada del SNP. En la respuesta inicial se da un aumento de la frecuencia cardíaca mediada por la disminución de la actividad vagal, seguida por un aumento en la actividad simpática que mantiene los valores altos de frecuencia cardíaca durante el ortostatismo (Furlan et al., 2000).

Este comportamiento se pudo observar en las variables tanto para los ER como en los FI. Sin embargo, en los LVP esta reactividad simpática se manifiesta justo en el cambio postural ortostática y aumenta levemente en el ortostatismo, con una tendencia a mantener su valor en esta misma etapa. Este hallazgo es coherente con los requerimientos técnicos de este deporte donde, como se mencionó anteriormente, se necesita mantener cierta isometría que permita sostener el peso del intento para que el movimiento sea válido en las dos modalidades de levantamiento olímpico.

Con respecto al comportamiento del promedio de la FC máx, FC Mín y FC Prom en los tres grupos comparados, se puede observar un promedio mayor y estadísticamente significativo en los LVP en ORT con respecto a los ER, con una diferencia de número de latidos con respecto al CPO menor en valores máximos, sin que estos sean estadísticamente significativos. Este hallazgo podría sugerir la presencia de un tono simpático sostenido por mayor tiempo en los LVP pero que no genera modificaciones tan marcadas en la FC Máx, a diferencia de lo sucedido con los ER y en los FI. Hasta el momento no se tiene conocimiento de otros estudios en los que se realice este análisis del comportamiento de la frecuencia cardíaca en estas poblaciones durante el ortostatismo.

Las diferencias de las variables del dominio frecuencial entre los tres grupos no resultaron ser estadísticamente significativas, con excepción de la variable LF expresada de forma logarítmica. Hay pocos estudios acerca de la VRC y el análisis de las variables del dominio frecuencial ante las respuestas de los sujetos físicamente inactivos y entrenados a maniobras que reducen el retorno venoso y los resultados de estos parecen ser contradictorios.

En un estudio realizado en 1992 (Dixon et al., 1992) se compararon sujetos sedentarios y corredores de larga distancia durante la bipedestación activa y no encontraron diferencias estadísticamente significativas. Este mismo comportamiento fue hallado en un estudio realizado en 2005 (Martinelli et al., 2005) con sujetos sedentarios y físicamente activos. Sin embargo, en una investigación realizada en 1993 (Furlan et al., 1993), donde se compararon FI y ER durante una prueba de mesa basculante, se identificó una tendencia a presentar mayor actividad simpática en los atletas al observar valores más altos de LF y en la relación LF / HF. Se requieren de más estudios y metodologías definidas para realizar una adecuada interpretación de estas variables en el dominio frecuencial en los atletas de levantamiento de pesas.

6.6 Etapa de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos

6.6.1 Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de la realización de medias sentadillas durante 45 segundos entre LVP, ER y FI

En esta fase la frecuencia cardíaca máxima y el Stress Índice no mostraron tener diferencias significativas ni entre los ER y los LVP ni entre estos últimos y los FI.

Al comparar los deltas de las medias de la FC Máx de la fase de realización sentadillas y ORT con el delta de las medias de la FC Máx de la fase del control de ventilación a 12 ciclos por minutos y el CPO, se puede observar una tendencia a considerar al CPO como

un estímulo simpático mayor para los LVP que lo que fue la realización de medias sentadillas por 45 segundos, a diferencia de lo que sucedió en los otros dos grupos. Este hecho puede estar relacionado con la presencia de manifestaciones diferenciales de la reactividad simpática de los LVP evidenciadas en el CPO y el ORT. Al momento, no se tiene conocimiento de literatura que realice comparaciones similares por lo que se requieren más estudios para corroborar esta apreciación.

6.7 Etapa de la recuperación a partir del minuto 1, posterior a la realización de medias sentadillas

6.7.1 Descripción del comportamiento de las variables de la VRC en la etapa de la recuperación en LVP

En el momento de la recuperación en posición supina posterior a la realización de una estimulación simpática a través de medias sentadillas por 45 segundos, específicamente a partir del primer minuto de recuperación, se pudo observar la respuesta del SNP hacia la modulación, sustentado en el análisis de variables del dominio temporal como pNN50, la cual muestra valores mayores con respecto a los vistos después de la realización de las sentadillas y en supino, junto con una media del coeficiente LF/HF menor, en comparación a las dos etapas previamente mencionadas. Sin embargo, llama la atención el comportamiento de los valores de la FC Prom y FC Máx en recuperación, así como los valores del componente HF en su expresión porcentual y en u.n, los cuales son mayores que los encontrados en supino. Este comportamiento podría estar relacionado con una persistencia en recuperación de un tono simpático aumentado, comportamiento encontrado también en la exposición al cambio postural ortostático y el ortostatismo que se resaltó en la descripción de las etapas previas.

6.7.2 Comparación de los valores de las variables de la VRC en la etapa de la recuperación entre LVP, ER y FI

En esta fase se puede observar una diferencia estadísticamente significativa entre los valores del dominio temporal como la frecuencia cardíaca máxima, media, y mínima, el pNN50 y el PNS Índice entre los LVP y los ER, y entre estos últimos y los FI.

Con respecto a los promedios de las frecuencias cardíacas se puede observar que los ER alcanzan valores de frecuencia cardíacas menores a las que tenían en posición supina al inicio de la prueba. En los FI y de levantamiento de pesas no se alcanzan niveles basales en recuperación, aun cuando si disminuyen.

Dado que la VRC en recuperación se ve afectada por la duración y la intensidad del esfuerzo, observándose una predominancia de la activación simpática cuando se realizan mediciones después de la realización de ejercicios de alta intensidad, la evaluación de estas variables posterior a ejercicios submáximos permite evaluar el comportamiento de la modulación parasimpático tanto en individuos entrenados como físicamente inactivos (Michael et al., 2017).

Un estudio realizado en ER y un grupo control sedentario midió las variables de la VRC en reposo y la frecuencia cardíaca de recuperación posterior a la realización de un ejercicio submaximal (Danieli et al., 2014). Se encontró una asociación estadísticamente significativa entre la magnitud de variables del dominio temporal como el RMSSD y del dominio frecuencias como el componente HF y la rapidez con que la frecuencia cardíaca descendía a los 30 s, primero y segundo minuto de recuperación, sugiriendo una modulación parasimpática aumentada en los atletas de resistencia a comparación de los sujetos controles físicamente inactivos.

Sin embargo, otros estudios (Dewland et al., 2007) han mostrado un efecto más claro de la acción de la modulación parasimpática en los sujetos sedentarios que en los sujetos entrenados, al observar una disminución de la frecuencia cardíaca en recuperación y de ciertos índices relacionados con la respuesta vagal en el análisis de la VRC en los sujetos sedentarios después de realizar una intervención farmacológica que buscaba incrementar el efecto del SNP, a diferencia de los sujetos entrenados dónde no se presentaron cambios. Este estudio parece sugerir un efecto de "saturación" de la modulación vagal en los sujetos entrenados, aun cuando en otros estudios este fenómeno de saturación se ha visto reflejado en parámetros de la respuesta vagal en el análisis de la VRC pero con

cambios en el comportamiento de la frecuencia cardíaca (Buchheit et al., 2006; Goldberger et al., 2001).

Cómo se puede observar, parece haber hallazgos controversiales acerca del comportamiento de la VRC en recuperación después de la realización de esfuerzos submaximales entre sujetos entrenados y sujetos sedentarios, relacionado además con la dificultad para realizar comparaciones entre las intervenciones, por lo que se necesitan más estudios con metodologías y descripción de las poblaciones más claras que permitan comprender mejor el comportamiento de estas variables.

En la literatura hay pocos estudios que describen el comportamiento de las variables de la VRC en LVP en periodos de recuperación después de la realización de ejercicios submaximales. Un estudio realizado con LVP (Chen et al., 2011) evaluó la VRC 3, 24, 48 y 72 horas después de la realización de un ejercicio de fuerza de 2 horas de duración para determinar el nivel de recuperación después de desencadenar un estado de fatiga. Después del entrenamiento, se presentó una disminución por debajo de la línea de base de los valores del componente HF con una leve elevación del poder espectral de los componentes LF después de 3 horas de recuperación. Después de 24 horas hubo un retorno a los valores basales, sugiriendo la utilidad del análisis de la VRC para la monitorización de los procesos de recuperación en esta población.

En el presente estudio, el comportamiento de la frecuencia cardíaca en recuperación podría corresponder con las manifestaciones de la reactividad y tono simpáticos observados durante el CPO y el ORT que podrían retardar la respuesta moduladora del sistema nervioso parasimpático en el momento de la recuperación. Se debe tener presente también que, al igual que en los pacientes físicamente inactivos, el trabajo de resistencia cardiovascular no es predominante en la planificación de los entrenamientos de esta población, por lo que esta respuesta también podría ser explicada por la posible ausencia de la estimulación de la modulación parasimpática generada por este tipo de entrenamiento.

7. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Este estudio buscó describir el comportamiento de las variables más relevantes tanto en el dominio frecuencial como temporal del análisis de la VRC en atletas de alto rendimiento de levantamiento de pesas y complementar esa descripción realizando una comparación de estos datos con los atletas entrenados de predominio en resistencia y sujetos físicamente inactivos. A continuación, se listan los hallazgos más relevantes del presente estudio:

- Se observó una tendencia en los LVP a presentar un mayor tono parasimpático que los FI pero menor que los ER en posición supina y en reposo, evidenciado en el comportamiento de ciertas variables del dominio temporal, junto con una mayor modulación del SNP cuando se controla la respiración a 10 ciclos por minuto, al igual que sucede con los ER y los FI.
- En el análisis del CPO y el ORT se pudo observar un viraje hacia un comportamiento autonómico de predominio simpático, pero aparentemente de mayor amplitud y duración en el tiempo, a comparación de los ER y los FI. Este comportamiento diferencial del SNS parece ser coherente con los requerimientos fisiológicos del LVP para la realización del gesto deportivo y podría ser técnicamente necesaria para coordinar la rápida activación muscular requerida para ejecutar todas las fases del movimiento y dar respuesta al cambio postural y a la modificación del retorno venoso. Se resalta el posible uso del Stress Índice y el análisis del Índice 30/15 en el CPO como herramienta de monitorización de la reactividad simpática en este tipo de atletas.

- En periodo de recuperación posterior a la realización de un ejercicio submaximal, los LVP presentaron una respuesta moduladora parasimpática, con aparente menor magnitud que los ER, lo cual posiblemente esté relacionado con la estimulación autonómica que produce el ejercicio de resistencia hacia el aumento del tono y la modulación parasimpática y por la presencia de esta modalidad deportiva en menor magnitud en la planificación del entrenamiento de los LVP.
- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas cuando se realizó el análisis de las variables del dominio frecuencial en ninguna fase de la prueba de función autonómica en ninguno de los grupos.

En conclusión, existe una diferencia en la respuesta neurovegetativa de los LVP con respecto a los grupos comparados, identificada mediante el análisis de la VRC, lo que podría tener implicaciones prácticas en la monitorización de estos atletas, cuyo componente principal del entrenamiento es la fuerza. Se requiere la realización de estudios analíticos que busquen determinar si dichas diferencias son producto de adaptaciones propias del entrenamiento de estos atletas. La medición de la VRC es una herramienta no invasiva que permite realizar el seguimiento de las adaptaciones del SNA a intervenciones específicas en entrenamiento y que podría correlacionarse con variables caracterizadoras del rendimiento deportivo en levantamiento de pesas, lo cual tendrá que corroborarse con la realización de estudios adicionales en este campo.

7.2 Limitaciones

Este estudio es de corte retrospectivo, transversal, descriptivo observacional con muestreo por conveniencia, el cual es metodológicamente inferior a los estudios de intervención con distribución aleatoria entre grupos para evaluar el efecto de los diferentes tipos de entrenamientos en la VRC y, dada su naturaleza, no se pueden establecer relaciones causales entre fenómeno. Sin embargo, este tipo de estudios permite describir la frecuencia y las características más relevantes del comportamiento de ciertas variables en diferentes tipos de poblaciones y proporciona datos sobre los que se pueden basar hipótesis razonables. Se requiere la realización de estudios analíticos que permitan corroborar la información presentada en el presente estudio y que complementen la

información existente acerca de la monitorización de los atletas especializados en levantamiento de pesas.

Una de las principales limitaciones del presente estudio es el pequeño tamaño de la muestra de los LVP. Sin embargo, esta es una característica común y en ocasiones inevitable en los estudios que se llevan a cabo con atletas élite.

Un aspecto que podría considerarse como una limitación en el presente estudio es la generalización del comportamiento fisiológico de los atletas a partir del cálculo de promedios de las variables evaluadas en el contexto de la monitorización del entrenamiento y de las características del atleta de alto rendimiento. Actualmente la tendencia en investigación en este campo apunta a realizar análisis de las variables fisiológicas de los deportistas de forma individual y a identificar tendencias que permitan interpretar los efectos del entrenamiento sobre las mismas en el contexto de los procesos de adaptación y supercompensación. Específicamente, podría aplicar para el análisis de la frecuencia cardíaca mediante el uso de medias poblacionales ya que esta variable presenta un comportamiento logarítmico y no lineal con respecto a la exposición a diferentes cargas de entrenamiento y presenta una gran dispersión en la distribución de sus valores dentro de poblaciones de similares características.

Sin embargo, dada la falta de información acerca del comportamiento de las VRC en los LVP, se requiere de estudios descriptivos en los que se puedan identificar patrones de comportamiento y que permitan guiar el análisis de este tipo de variables dentro de las pruebas de función autonómica, en el contexto de la especialización deportiva propia de cada deporte. Este tipo de estudios podrían considerarse un acercamiento aceptable a dicha información y podrían constituir la base de posteriores estudios de intervención que ayuden a corroborar la información obtenida en el presente estudio, como se mencionó anteriormente.

Con respecto a las características poblacionales, el grupo de los sujetos entrenados en resistencia estaba compuesto por atletas de modalidades mixtas, lo que podría eventualmente sesgar el análisis de los datos en cuanto al comportamiento de las variables

de la VRC. Sin embargo, se tenía conocimiento de que estos sujetos y sus disciplinas deportivas contaban con un trabajo específico de resistencia dentro de sus planificaciones metodológicas, lo cual hacía más probable que se pudieran encontrar las adaptaciones propias de este tipo de entrenamiento en el análisis de la VRC y por lo cual fueron incluidos en el estudio.

Otra característica que puede ser relevante a la hora de analizar los datos es el nivel de consumo máximo de oxígeno que tiene la población evaluada, información que en el presente estudio no estuvo disponible, sin embargo, el análisis de los datos se basó en la información disponible en la literatura acerca de este aspecto y la especialización deportiva que tenía la población evaluada.

7.3 Recomendaciones

Se recomienda la realización de estudios analíticos que busquen determinar si el comportamiento neurovegetativo de los atletas de levantamiento de pesas encontrado en el presente estudio es secundario a la presencia de adaptaciones específicas del deporte.

Igualmente es prioritaria la realización de estudios que busquen establecer la importancia del uso de variables de la VRC en el CPO y el ORT dentro de los procesos de monitorización del entrenamiento y el rendimiento deportivo.

Anexo A: Comparaciones Post Hoc con Método LSD

Etapa en posición supina

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable Prom RR en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	107,78	162,46	Significativo
ER	FI	107,78	190,01	Significativo
FI	LVP	107,78	27,55	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable RMSSD en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	28,40	25,75	No significativo
ER	FI	28,40	36,79	Significativo
FI	LVP	28,40	10,74	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable PNS Índice en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	1,10	1,46	Significativo
ER	FI	1,10	1,86	Significativo
FI	LVP	1,10	0,40	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Máx en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	9,41	13,11	Significativo
ER	FI	9,41	11,09	Significativo
FI	LVP	9,41	2,02	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Mín en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	9,41	8,61	No significativo
ER	FI	9,41	11,26	Significativo
FI	LVP	9,41	2,65	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable LF log en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	0,81	0,69	No significativo
ER	FI	0,81	1,12	Significativo
FI	LVP	0,81	0,43	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable LF ms² en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	865,36	823,63	No significativo
ER	FI	865,36	1055,90	Significativo
FI	LVP	865,36	232,28	No significativo

Etapa de CPO

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable SNS Índice en CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	0,87	2,25	Significativo
ER	FI	0,87	1,58	Significativo
FI	LVP	0,87	0,67	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC min en CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	7,97	11,58	Significativo
ER	FI	7,97	15,14	Significativo
FI	LVP	7,97	3,55	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Prom en CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	8,54	24,01	Significativo
ER	FI	8,54	16,38	Significativo
FI	LVP	8,54	7,63	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable delta de la FC Prom en CPO

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	8,54	18,55	Significativo
ER	FI	8,54	7,10	No significativo
FI	LVP	8,54	11,44	Significativo

Etapa de ORT

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Máx en ORT

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	12,08	25,46	Significativo
ER	FI	12,08	14,85	Significativo
FI	LVP	12,08	10,61	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Mín en ORT

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	7,20	14,57	Significativo
ER	FI	7,20	13,80	Significativo
FI	LVP	7,20	0,77	No significativo

Etapa de la realización de medias sentadillas por 45 segundos

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Máx en la etapa de la realización de medias sentadillas

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	13,41	11,54	No significativo
ER	FI	13,41	21,69	Significativo
FI	LVP	13,41	10,15	No significativo

Etapa de recuperación a partir del primer minuto después de la realización de medias sentadillas por 45 segundos

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable Prom RR en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	100,28	254,77	Significativo
ER	FI	100,28	308,53	Significativo
FI	LVP	100,28	53,76	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable PNS Índice en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	1,39	1,55	Significativo
ER	FI	1,39	2,58	Significativo
FI	LVP	1,39	1,03	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Mín en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	7,98	9,95	Significativo
ER	FI	7,98	17,33	Significativo
FI	LVP	7,98	7,38	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable FC Máx en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	10,40	28,02	Significativo
ER	FI	10,40	25,45	Significativo
FI	LVP	10,40	2,57	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable delta de FC Mín en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	4,95	1,34	No significativo
ER	FI	4,95	6,07	Significativo
FI	LVP	4,95	4,73	No significativo

Comparaciones Post Hoc con Método LSD para la variable delta de FC Máx en supino

Grupo 1	Grupo 2	LSD	Diferencia muestral	Significancia
ER	LVP	9,92	14,91	Significativo
ER	FI	9,92	14,36	Significativo
FI	LVP	9,92	0,55	No significativo

Bibliografía

- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., & Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.6166045>
- Alejandra, M., Hernández, S., Carolina, D., Serna, C., Mario, J., Garavito, C., Alfredo, J., Trujillo, A., Ernesto, C., Combariza, P., Esteban, R., Bucheli, A., María, N., Zárate, R., Nacional, U., & Davis, S. S. E. (2019). *May 29 11 : 00 AM - 12 : 30 PM Influence of Heart Rate Variability Variables in Half Squat Performance in Female Athletes Coldeportes Colombia , Bogotá , Colombia . 3 Biomechanics Laboratory - Sports Science Center - Codeportes , Bogotá , Colombia . 4 Bio*. 2019.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889–919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
- Baggish, A. L., & Wood, M. J. (2011). Athlete's Heart and Cardiovascular Care of the Athlete. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.110.981571>
- Barbosa, M. P. da C. de R., Silva, A. K. F. da, Bernardo, A. F. B., Souza, N. M. de, Neto Junior, J., Pastre, C. M., & Vanderlei, L. C. M. (2014). Influence of resistance training on cardiac autonomic modulation: literature review. *Medical Express*, 1(5), 284–288. <https://doi.org/10.5935/medicalexpress.2014.05.13>
- Bhati, P., Moiz, J. A., Menon, G. R., & Hussain, M. E. (2019). Does resistance training modulate cardiac autonomic control? A systematic review and meta-analysis. *Clinical Autonomic Research*, 29(1), 75–103. <https://doi.org/10.1007/s10286-018-0558-3>
- Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V., Apicella, C., Ianniciello, A., Romano, M., Breglio, R., & Marciano, F. (1998). Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1097/00005768-199805000-00008>
- Bootsma, M., Swenne, C. A., Van Bolhuis, H. H., Chang, P. C., Cats, V. M., & Brusckhe, A. V. G. (1994). Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1994.266.4.h1565>
- Brown, S. P., Miller, W. C., & Eason, J. M. (2006). Exercise physiology : basis of human

- movement in health and disease. *Published in 2006 in Philadelphia by Lippincott Williams & Wilkins.*
- Buchheit, M., Simon, C., Charloux, A., Doutreleau, S., Piquard, F., & Brandenberger, C. (2006). Relationship between very high physical activity energy expenditure, heart rate variability and self-estimate of health status in middle-aged individuals. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-2005-872929>
- Chang, Q., Liu, R., & Shen, Z. (2013). Effects of slow breathing rate on blood pressure and heart rate variabilities. *International Journal of Cardiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.08.121>
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. Da, Chen, C. C., Kuo, T. B. J., Kao, C. L., & Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181da7858>
- Collado Márquez, S., Vegas Jáudenes, I., Delgado Cortés, S., de Miguel Ballano, A., Escortell Mayor, E., & Saá Requejo, C. (2008). Neuropatía autonómica diabética diagnosticada mediante un test cardiovascular en pacientes con diabetes tipo 2. *Atencion Primaria*, 40(10), 511–515. <https://doi.org/10.1157/13127232>
- Cooke, W. H., & Carter, J. R. (2005). Strength training does not affect vagal-cardiac control or cardiovagal baroreflex sensitivity in young healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1243-x>
- Danieli, A., Lusa, L., Potočnik, N., Meglič, B., Grad, A., & Bajrović, F. F. (2014). Resting heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise. *Clinical Autonomic Research*, 24(2), 53–61. <https://doi.org/10.1007/s10286-014-0225-2>
- Dewland, T. A., Androne, A. S., Lee, F. A., Lampert, R. J., & Katz, S. D. (2007). Effect of acetylcholinesterase inhibition with pyridostigmine on cardiac parasympathetic function in sedentary adults and trained athletes. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.01339.2006>
- Dixon, E. M., Kamath, M. V., McCartney, N., & Fallen, E. L. (1992). Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovascular Research*. <https://doi.org/10.1093/cvr/26.7.713>
- Fenley, A., Silva, L. da C., Reis, H. V., Sampaio, L. M., Borghi-Silva, A., & Reis, M. S. (2016). Ajustes cardiorrespiratórios durante a manobra de acentuação da arritmia sinusal respiratória: influência do tempo da manobra sobre o volume minuto, fração expirada de CO₂ e variabilidade da frequência cardíaca. *Fisioterapia e Pesquisa*. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/14696023012016>
- Furlan, R., Piazza, S., Dell'orto, S., Gentile, E., Cerutti, S., Pagani, M., & Malliani, A. (1993). Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular Research*. <https://doi.org/10.1093/cvr/27.3.482>
- Furlan, R., Porta, A., Costa, F., Tank, J., Baker, L., Schiavi, R., Robertson, D., Malliani, A.,

- & Mosqueda-Garcia, R. (2000). Oscillatory patterns in sympathetic neural discharge and cardiovascular variables during orthostatic stimulus. *Circulation*, *101*(8), 886–892. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.8.886>
- Gall, B., Parkhouse, W., & Goodman, D. (2004). Heart rate variability of recently concussed athletes at rest and exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000135787.73757.4D>
- Gallo, J., Alvarez, D. L., & Farbiarz, J. (2001). Analisis en tiempo y frecuencia de la variabilidad R-R en deportistas y sedentarios. *Acta Méd. Colomb*, *26*, 65–72.
- Goldberger, J. J., Challapalli, S., Tung, R., Parker, M. A., & Kadish, A. H. (2001). Relationship of heart rate variability to parasympathetic effect. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.103.15.1977>
- Heffernan, K. S., Jae, S. Y., Echols, G. H., Lepine, N. R., & Fernhall, B. (2007). Arterial stiffness and wave reflection following exercise in resistance-trained men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318031b03c>
- Ianna, J. E. M. A. V., Eis, M. I. S. I. R., Da, J. E., & Ovaes, S. I. N. (2018). *O e r s e h r v b p h a. 00(00)*.
- Iellamo, F., Lucini, D., Volterrani, M., Casasco, M., Salvati, A., Gianfelici, A., Di Gianfrancesco, A., Urso, A., & Manzi, V. (2019). Autonomic nervous system responses to strength training in top-level weight lifters. *Physiological Reports*. <https://doi.org/10.14814/phy2.14233>
- Janssen, M. J. A., de Bie, J., Swenne, C. A., & Oudhof, J. (1993). Supine and standing sympathovagal balance in athletes and controls. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. <https://doi.org/10.1007/BF00376661>
- Kingsley, J. D., & Figueroa, A. (2016). Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *36*(3), 179–187. <https://doi.org/10.1111/cpf.12223>
- Macedo, F. N., Mesquita, T. R. R., Melo, V. U., Mota, M. M., Silva, T. L. T. B., Santana, M. N., Oliveira, L. R., Santos, R. V., Miguel dos Santos, R., Lauton-Santos, S., Santos, M. R. V., Barreto, A. S., & Santana-Filho, V. J. (2016). Increased Nitric Oxide Bioavailability and Decreased Sympathetic Modulation Are Involved in Vascular Adjustments Induced by Low-Intensity Resistance Training. *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00265>
- Macor, F., Fagard, R., & Amery, A. (1996). Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: Comparison between cyclists and controls. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972828>
- Martinelli, F. S., Chacon-Mikahil, M. P. T., Martins, L. E. B., Lima-Filho, E. C., Golfetti, R., Paschoal, M. A., & Gallo-Junior, L. (2005). Heart rate variability in athletes and nonathletes at rest and during head-up tilt. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *38*(4), 639–647. <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2005000400019>

- Michael, S., Graham, K. S., & Oam, G. M. D. (2017). Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals-a review. In *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00301>
- Ortiz Guzmán, J. E., Mendoza Romero, D., Calderón, C. A., & Urbina, A. (2012). Análisis de los componentes espectrales de la variabilidad cardíaca en hombres jóvenes entrenados: Comparación del entrenamiento aeróbico y anaeróbico. *Apunts Medicina de l'Esport*, 47(174), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.06.002>
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, G., Dell'Orto, S., & Piccaluga, E. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research*. <https://doi.org/10.1161/01.RES.59.2.178>
- Pal, G. K., Velkumary, S., & Madanmohan, A. (2004). Effect of short-term practice of breathing exercises on autonomic functions in normal human volunteers. *Indian Journal of Medical Research*.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Poveda, C., Fouillot, J.-P., & Richalet, J.-P. (2009). Efecto de la exposición aguda a la hipoxia sobre la modulación neurovegetativa en reposo y al ejercicio. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*.
- Rodas, G., Pedret, C., Ramos, J., & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de Medicina Del Deporte*.
- Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O'Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, 13(4), 298–309. <https://doi.org/10.1183/20734735.009817>
- Sandercock, G. R. H., Bromley, P. D., & Brodie, D. A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: Inferences from meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155388.39002.9D>
- Shin, K., Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H., & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: Spectral analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1097/00005768-199711000-00015>
- Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.005>
- Smith, M. L., Hudson, D. L., Graitzer, H. M., & Raven, P. B. (1989). Exercise training

- bradycardia: The role of autonomic balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/00005768-198902000-00008>
- Storey, A., & Smith, H. K. (2012). Unique aspects of competitive weightlifting: Performance, training and physiology. In *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/11633000-000000000-00000>
- Strano, S., Lino, S., Calcagnini, G., Di Virgilio, V., Ciardo, R., Cerutti, S., Calcagnini, G., & Caselli, G. (1998). Respiratory sinus arrhythmia and cardiovascular neural regulation in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1097/00005768-199802000-00007>
- Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and. (1996). Standards of measurement, physiological interpretation, and clinica use. *European Heart Journal*.
- Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Takala, T. E. S., Seppänen, T., & Huikuri, H. V. (1996). Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1996.271.1.h244>
- Uusitalo, A. L.T., Tahvanainen, K. U. O., Uusitalo, A. J., & Rusko, H. K. (1996). Non-invasive evaluation of sympathovagal balance in athletes by time and frequency domain analyses of heart rate and blood pressure variability. *Clinical Physiology*. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.1996.tb00735.x>
- Uusitalo, Arja L.T., Uusitalo, A. J., & Rusko, H. K. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8853>
- Van Ravenswaaij-Arts, C. M. A., Kollee, L. A. A., Hopman, J. C. W., Stoelinga, G. B. A., & Van Geijn, H. P. (1993). Heart rate variability. In *Annals of Internal Medicine*. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-118-6-199303150-00008>
- Vinik, A. I., Maser, R. E., Mitchell, B. D., & Freeman, R. (2003). Diabetic autonomic neuropathy. In *Diabetes Care*. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.5.1553>
- Voss, A., Schroeder, R., Heitmann, A., Peters, A., & Perz, S. (2015). Short-term heart rate variability - Influence of gender and age in healthy subjects. *PLoS ONE*, 10(3), 1–33. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118308>
- Zhang, P. Z., Tapp, W. N., Reisman, S. S., & Natelson, B. H. (1997). Respiration response curve analysis of heart rate variability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1109/10.563302>