



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE POSTGRADO



**VALORACIÓN DE LOS EFECTOS AGUDOS SOBRE LA VARIABILIDAD DEL RITMO
CARDÍACO POST EJERCICIO FÍSICO EN ADULTOS MAYORES**

ÁLVARO ANDRÉS VILLALOBOS GORIGOTTÍA

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN FISIOLOGÍA**

Director de Tesis: Dr. Marcelo Cano Cappellacci

2022

DEDICATORIA

“Dedicado a mi madre Sara, tía Paulina, tío Francisco, Tata Horacio, Tata Enrique y a todas las mascotas que fueron parte de mi familia, en donde pudimos compartir momentos maravillosos, y sé que desde alguna parte, están observando y apoyándome en todos los pasos que voy dando en este difícil pero hermoso camino llamado vida”

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, quiero agradecer a mi director de tesis, el Dr. Marcelo Cano por su constante apoyo y por ser un gran guía en esta etapa. Como su alumno, valoro su calidad humana, humildad y sencillez para afrontar todas mis inquietudes y dificultades en el desarrollo de este trabajo. También agradezco a todas las personas que decidieron participar voluntariamente en este estudio. Siempre recordaré con alegría su enorme disposición, generosidad e interés por los avances de mi tesis. Por otra parte, hacer mención y agradecimiento especial a mi amigo y profesor Emilio Jofré, con el cual comenzamos a aventurarnos hace un par de años en el mundo de la investigación científica y hemos ido logrando pequeños pero importantes avances en las áreas que nos apasionan (investigación, docencia y entrenamiento). Por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia y amigos que fueron testigos de todo lo que he logrado desde que comencé este camino, los cuales constantemente me han brindado su apoyo y cariño incondicional. Siempre serán un pilar fundamental en mi vida.

Gracias a todos ustedes es que estoy aquí.

FINANCIAMIENTO

La presente tesis es autofinanciada

| ÍNDICE | Página |
|--|---------------|
| 1. Resumen | 6 |
| 2. Abstract | 7 |
| 3. Introducción | 8 |
| 4. Hipótesis | 14 |
| 5. Objetivo General | 15 |
| 5.1 Objetivos específicos | 15 |
| 6. Diseño experimental | 16 |
| 6.1.Criterios de inclusión | 16 |
| 6.2.Criterios de exclusión | 16 |
| 7. Métodos | 17 |
| 7.1. Medición y análisis de la variabilidad del ritmo cardíaco | 17 |
| 7.2. Valoración del nivel de actividad física | 18 |
| 7.3. Protocolo de la sesión de ejercicio físico | 18 |
| 7.4. Cálculo del tamaño muestral | 19 |
| 7.5. Requerimientos bioéticos | 20 |
| 7.6. Análisis estadístico | 20 |
| 8. Resultados | |
| 8.1.Caracterización de la muestra | 21 |
| 8.2.Descripción de las variables de dominio tiempo y frecuencia de la VRC en función del momento de la sesión con sus respectivos pre y post test | 23 |
| 8.3. Comparación de muestras pareadas en función del momento de la sesión en el pretest | 24 |
| 8.4. Relación entre el nivel de actividad física y la VRC | 26 |
| 8.5. Relación entre el Índice de Masa Corporal y la VRC | 28 |
| 9. Discusión | 30 |
| 10. Conclusión | 33 |
| 11. Referencias | 34 |
| 12. Anexos | 46 |

1. RESUMEN

La variabilidad del ritmo cardíaco (VRC) es un parámetro fisiológico medible mediante métodos no invasivos para evaluar la regulación de la frecuencia cardíaca (FC) por las divisiones parasimpática y simpática del sistema nervioso autónomo (SNA). La evaluación de la VRC a corto plazo (10 minutos) en condiciones controladas, puede entregar información sobre cambios fisiológicos en función del SNA y es útil para diagnosticar el riesgo de algún evento cardiovascular en un amplio rango etario de sujetos. El objetivo de la investigación fue valorar el efecto agudo de una sesión de ejercicios isométricos con cambios de posición en el espacio de 10 minutos, sobre la VRC en un grupo de adultos mayores que viven en la comunidad. Se utilizó la banda cardíaca Polar H10 para el registro de los intervalos R-R y para el análisis de la VRC se empleó el software “Kubios HRV Premium”. Para analizar la distribución de datos se aplicó una prueba de Shapiro-Wilk con una prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, ya que los datos presentaron una distribución no normal. La muestra estuvo compuesta por 32 participantes (14 hombres y 18 mujeres) con una edad promedio de 67.8 ± 6.4 años. No se encontraron cambios en los parámetros de dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD, pNN50) y dominio frecuencia (LF, HF, LF/HF) postejercicio. Se requieren más investigaciones de este tipo en donde se modifiquen variables del entrenamiento (volumen, intensidad, tipo de ejercicio) que puedan generar una mayor respuesta aguda en la función autónoma cardíaca de los adultos mayores que viven en la comunidad.

Palabras clave: Variabilidad del ritmo cardíaco, adultos mayores, ejercicio físico, efectos agudos, función autónoma.

2. ABSTRACT

Heart rate variability (HRV) is a physiological parameter measurable by non-invasive methods to assess the regulation of heart rate (HR) by the parasympathetic and sympathetic divisions of the autonomic nervous system (ANS). Short-term evaluation of HRV (10 minutes) under controlled conditions can provide information on physiological changes in function of the ANS and is useful for diagnosing the risk of a cardiovascular event in a wide age range of subjects. The objective of the research was to assess the acute effect of a session of isometric exercises with changes of position in space of 10 minutes, on HRV in a group of older adults living in the community. The Polar H10 cardiac band was used to record the R-R intervals and the "Kubios HRV Premium" software was used for the HRV analysis. To analyze the data distribution, a Shapiro-Wilk test with a Wilcoxon test for related samples were applied, since the data presented a non-normal way. The sample consisted of 32 participants (14 men and 18 women) with an average age of 67.8 ± 6.4 years. No significant changes were found in time domain (HR, SDNN, RMSSD, pNN50) and frequency domain (LF, HF, LF/HF) parameters post-exercise. More research of this type is required where training variables are modified (volume, intensity, type of exercise) that can generate a greater acute response in the cardiac autonomic function of older adults living in the community.

Keywords: Heart rate variability, older adults, physical exercise, acute effects, autonomic function.

3. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento de la población ha provocado un aumento considerable en la proporción de adultos mayores a nivel mundial, resultante de una mayor longevidad y menores tasas de fecundidad (de Medeiros et al., 2020). En el envejecimiento, se ha observado que existen diversos factores, tanto intrínsecos como ambientales que afectan a todos los sistemas del organismo con el paso de los años, entre los cuales encontramos al Sistema Nervioso Autónomo (SNA). El SNA representa un regulador clave de diversos procesos fisiológicos por medio de sus divisiones simpática y parasimpática (Bishop et al., 2010), las cuales regulan la frecuencia cardíaca (FC) y su variabilidad al interactuar con los receptores de membrana de las células del nódulo sinoauricular (NSA) (Karemaker, 2017). El NSA es una región de cardiomiocitos especializados que son capaces de despolarizarse espontáneamente y constituyen la principal zona de células marcapasos del corazón. A su vez, estas células son reguladas por dos vías de señalización: la estimulación simpática que aumenta la FC, y la estimulación parasimpática que la disminuye (Rosenberg et al., 2020). El latido del corazón da inicio en el NSA cuando las células marcapasos se sincronizan con un ritmo común por interacción eléctrica a través de uniones gap (conocido como mecanismo de arrastre mutuo), y que resulta fundamental para generar descargas eléctricas regulares que impulsan la actividad de todo el corazón (Fenske et al., 2016). La activación espontánea de las células marcapasos se inicia mediante la despolarización diastólica lenta (Fenske et al., 2020) y por lo tanto, los canales iónicos de la membrana superficial de las células marcapasos del NSA son la causa principal de un potencial de acción (PA) (Lakatta et al., 2010). La duración y forma de los PA están controladas y determinadas por la función y actividad de varios canales iónicos y genes en una célula cardíaca individual (Tosaki, 2020). En las células del NSA, la duración del PA varía de una especie a otra y la variabilidad de latido a latido para la duración del PA es un predictor arritmogénico importante, que determina la intensidad del acoplamiento de célula a célula (Magyar et al., 2016; Nánási et al., 2017). En este contexto, las células marcapasos tienen la capacidad de auto excitarse (cronotropismo) y producir descargas que provocan las contracciones rítmicas automáticas del corazón (Quigley & Bernston, 1996). El potencial de membrana en reposo de las células del NSA es de aproximadamente -60 mV y las fibras sinusales presentan una permeabilidad inherente a los iones de calcio (Ca^{2+}) y también al sodio (Na^+), gracias a la presencia de canales lentos calcio-sodio. Los iones Ca^{2+} y Na^+ que fluyen

hacia el interior provocan que el potencial de reposo se desplace en dirección positiva y cuando el potencial alcanza un valor umbral de aproximadamente -40 mV, otros canales de Ca^{2+} - Na^{+} dependientes de voltaje se activan o abren, despolarizando la célula (fase 0) y desencadenando de esta manera, el potencial de acción (Tosaki, 2020). El impulso generado en el NSA viaja a través del músculo auricular, despolarizando las fibras y provocando su contracción (inotropismo), hasta el nódulo auriculoventricular. En este caso, la fosforilación de los canales lentos calcio-sodio (L) mediada por proteína kinasa A (PKA), es responsable de una mayor entrada de Ca^{2+} a la fibra muscular miocárdica y además, la PKA fosforila proteínas contráctiles del músculo (troponina I) (Goldberger et al., 2019). Sin embargo, la proteína G_i disminuye la actividad de los canales lentos Ca^{2+} - Na^{+} (tipo L) y de esta manera, disminuye el acoplamiento excito-contráctil del músculo cardíaco (efecto inotrópico negativo) (Lakatta et al., 2010). Por lo tanto, los PA del NSA, el nódulo auriculoventricular (NAV) y las células de Purkinje determinan la actividad del marcapasos (fase de despolarización 4) del corazón, lo que lleva a la manifestación superficial, el registro y la evaluación de las ondas de electrocardiograma tanto en modelos animales como en humanos (Tosaki, 2020). Otro mecanismo que influye en la FC y su variabilidad es el sistema de “reloj acoplado” dentro de las células del NSA, el cual está compuesto por dos mecanismos intercelulares intrínsecos: la vía Ca^{2+} - calmodulina – calmodulina kinasa tipo 2 (CaMKII) y la vía Ca^{2+} - calmodulina – adenil ciclasa (AC) que pueden fosforilar distintos sitios de la célula marcapasos (canales iónicos de membrana, canales del retículo sarcoplasmático, en la mitocondria y sarcómero), los cuales interactúan entre sí y son capaces de oscilar incluso sin entrada neuronal (Yaniv et al., 2015). A través de estas interacciones, los dos relojes del subsistema se entrelazan mutuamente para formar un sistema acoplado robusto y estable que impulsa la automaticidad normal de las células del marcapasos cardíaco (Lakatta et al., 2010).

Todos los mecanismos mencionados con anterioridad contribuyen a la regulación de la FC y la VRC, por lo que comprender los cambios asociados al envejecimiento en estas dos variables, puede ayudar a identificar mecanismos subyacentes a enfermedades cardíacas (Rosenberg et al., 2020).

La VRC es un índice fisiológico de la funcionalidad del SNA y representa un análisis de las variaciones latido a latido en milisegundos y que expresa diferencias de los intervalos RR (iRR) consecutivos de los complejos QRS de un electrocardiograma (Mantantzis et al., 2020). La VRC va disminuyendo con el paso de los años, lo que implica deficiencias en la modulación autónoma cardíaca y por lo tanto, una capacidad alterada del corazón para adaptarse a estímulos fisiológicos y ambientales, conllevando a un mayor riesgo de eventos cardíacos y mortalidad (Oliveira et al., 2013). Se ha determinado que las propiedades intrínsecas y extrínsecas de las células marcapasos del nódulo sinoauricular y su capacidad de respuesta a la señalización autónoma son moduladores importantes de la VRC (Larson et al., 2013; Yaniv et al., 2013). Dentro de estas propiedades, tanto la descarga neural hacia las células y los mecanismos intrínsecos de las células marcapasos se deterioran en edades avanzadas, debido a una remodelación en la estructura y función de los canales iónicos y conexas internas de Ca^{2+} , sumado a reducciones en el potencial de acción espontáneo (Tellez et al., 2006). También se ha documentado una señalización deficiente en la vía adenil ciclasa – adenosín mono fosfato cíclico (AC-AMPC) y la PKA, disminuyendo los niveles de Ca^{2+} intracelular tanto en mamíferos como humanos (Liu et al., 2014). Por lo tanto, el envejecimiento se asocia con un aumento de los impulsos neurales simpáticos y capacidad de respuesta reducida de los intervalos cardíacos frente a la estimulación de los receptores β -adrenérgicos y/o colinérgicos en las células marcapasos (Brodde & Leineweber, 2004; Liu et al., 2014).

Los adultos mayores (toda persona que tenga una edad igual o superior a 60 años) (Rudnicka et al., 2020) presentan un pobre ajuste autonómico, lo que se refleja en iRR más regulares y reducidos en cuanto a su duración, por lo que su VRC es menor (Soares-Miranda et al., 2014; Sessa et al., 2018). La VRC puede evaluarse utilizando métodos lineales, analizados en los dominios de tiempo y frecuencia (Shaffer & Gingsberg, 2017). En el dominio tiempo, los índices estadísticos y geométricos se obtienen utilizando técnicas matemáticas que cuantifican la variabilidad entre los iRR (promedio iRR, variaciones de la desviación estándar de los iRR, FC media, entre otros) y proporciona índices que interpretan las fluctuaciones a lo largo de los ciclos cardíacos (Catai et al., 2020). En el dominio frecuencia se utiliza el análisis espectral, que permite la descomposición de la variación de una serie de tiempo de iRR en sus componentes oscilatorios fundamentales como las bandas de frecuencia que serán descritas a continuación (Vanderlei et al., 2009). Estas bandas corresponden a las fluctuaciones de alta frecuencia (HF)

que van desde 0,15-0,4 Hz, las cuales representan la modulación vagal y las fluctuaciones de baja frecuencia (LF) que oscilan entre 0,04-0,15 Hz, que representan la modulación simpática y vagal con predominio simpático (Catai et al., 2020). En general, las variables del dominio tiempo están relacionadas entre sí y se ven afectadas en diferente grado por inhibición de la rama parasimpática (Lahiri et al., 2008). Por ejemplo, la disminución de la desviación estándar de los intervalos RR (SDNN) que es representativa del dominio tiempo a largo plazo, puede provocar una disfunción vagal que aumenta el riesgo de taquicardia ventricular y fibrilación, sumado a aumentos del cociente de las bandas de baja y alta frecuencia (LF/HF) en personas que presentan bajos niveles de actividad física (Hayano & Yuda, 2019). Esta disfunción refleja una reducción de la actividad parasimpática y un cambio hacia un mayor dominio simpático, provocando alteraciones en la función cognitiva-ejecutiva y bienestar físico-emocional en la población en general (Kemp & Quintana, 2013).

Por otra parte, la alta prevalencia de sedentarismo en la población de edad avanzada, confirma que solo un 8% de los adultos mayores cumplen con las recomendaciones mundiales de actividad física (Crombie et al., 2019) y además, pasan aproximadamente un 60-70% (8-12 horas) del día en actividades sedentarias que conllevan a una disminución más acelerada de la VRC que el proceso de envejecimiento por sí solo (Galetta et al., 2013; Miyagi et al., 2019), deterioro de su capacidad funcional, desarrollo de enfermedades crónicas y mortalidad prematura (Yaniv et al., 2016; Mañas et al., 2019). Los niveles de actividad física pueden cuantificarse por medio de diversos instrumentos, como el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ), el cual proporciona datos autoreportados sobre el tiempo dedicado a la actividad física durante los últimos 7 días y su nivel de intensidad (leve, moderada o vigorosa) (Ferrari et al., 2020).

Frente a esta situación, la realización de ejercicio físico (EF) se ha asociado con una VRC más favorable, especialmente aquellos que reflejan un aumento de la modulación vagal y una reducción de la actividad parasimpática en la población en general (Swain & Franklin, 2006), y por lo tanto, el SNA juega un rol clave en las adaptaciones al ejercicio (Taralov et al., 2015). El EF sostenido en el tiempo, provoca aumentos significativos en parámetros de la VRC como la SDNN y la banda de alta frecuencia (HF) y disminuciones en el cociente LF/HF (Oliveira et al., 2013). Aunque el EF a largo plazo disminuye los niveles de catecolaminas y la

densidad de los receptores β -adrenérgicos, ocurren aumentos tanto en la VRC como en la potencia de la banda HF post ejercicio que son similares a los aumentos en individuos más sanos (Yaniv et al., 2014). También se han demostrado aumentos en la raíz cuadrada de las medias entre intervalos RR sucesivos (RMSSD) durante la recuperación del ejercicio, lo cual conlleva posteriormente a un aumento de la modulación cardíaca parasimpática (Perez-Quilis et al., 2017). En otro estudio con adultos mayores, se demostró que un programa de EF de una hora por sesión, que incluía trabajos de fuerza, equilibrio, coordinación y respiración, provocó mejoras significativas en diversos índices de la VRC como el porcentaje de intervalos RR que difieren en menos de 50 milisegundos (pNN50), SDNN, RMSSD y disminuciones en el cociente LF/HF (Toni et al., 2016).

La función autónoma se puede estimar de forma no invasiva a partir de grabaciones con bandas cardíacas para pecho en condiciones controladas y semi controladas (Gilgen-Ammann et al., 2019; Królak et al., 2020). Los registros de iRR a corto plazo (5 a 15 minutos) realizados en condiciones controladas (por ejemplo: decúbito supino, de pie o en posición vertical), pueden dilucidar cambios fisiológicos, farmacológicos o patológicos en la función del SNA (Kleiger et al., 2005). Además de proporcionar índices relacionados con la electrofisiología y la regulación autonómica, el análisis de VRC también incluye fluctuaciones respiratorias, barorreflejas y circadianas que son indicativos de respuestas más saludables (Shaffer & Ginsberg, 2017). Sin embargo, varios aspectos clave no se han abordado en adultos mayores, los cuales presentan mayor riesgo de VRC anormal y eventos cardíacos que personas más jóvenes (Sandercock et al., 2008). Dentro de estos aspectos, la evaluación de la modulación autonómica cardíaca después de una sesión de EF y posterior recuperación presenta limitada información en adultos mayores y solo se ha descrito un incremento de la actividad simpática y reducción de la actividad parasimpática (aumentos en FC, LF, LF/HF y disminución de SDNN, HF) después de realizar EF en sujetos jóvenes sanos y/o con disfunción autónoma (Kingsley & Figueroa, 2016; de Paula et al., 2019).

Existen variadas investigaciones en las cuales se evalúa la VRC después de aplicar diferentes modalidades de EF, pero en cuanto a la modalidad de EF derivado del método Pilates (posturas isométricas con cambios de posición en el espacio), solo se reporta un estudio (Rocha et al., 2020) que valora los cambios en la VRC en un grupo de adultos de mediana edad y

mayores sedentarios, tras una sesión de ejercicios de contracción dinámica por 60 minutos. La VRC se evaluó cada 10 minutos después de realizada la sesión hasta completarse una hora de recuperación, encontrándose disminuciones en los dominios de tiempo (SDNN, RMSSD y pNN50) de esta variable. Sin embargo, sesiones de EF con una duración muy extensa pueden generar un mayor estrés mecánico en los adultos mayores que presenten una pobre tolerancia a esfuerzos prolongados, debido a una capacidad física y funcional reducida (Lorenz & Morrison, 2015; Fragala et al., 2019). A su vez, esta situación puede provocar una menor adherencia a las sesiones de EF, sumado a que el interés para participar en este tipo de intervenciones disminuye con el paso de los años (Picorelli et al., 2014; Mittaz-Hager et al., 2019). Previamente, un estudio documentó los efectos agudos sobre la VRC mediante una sesión de 5 minutos de Taichiquan en sujetos jóvenes y mayores, encontrándose aumentos en el parámetro SDNN, y que al realizarse en el mediano y largo plazo pueden mejorar la VRC (Väänänen et al., 2002). Interesantemente, esto coincide con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde afirman que cualquier cantidad y tipo de actividad física puede provocar beneficios sustanciales para la salud cardíaca (Saint-Maurice et al., 2018; Bull et al., 2020). Respecto a intervenciones de corta duración con ejercicios derivados del método Pilates, un estudio de Mallery et al. en el año 2003, reportó los beneficios de realizar 10 minutos de ejercicios de fortalecimiento siguiendo el principio de esta modalidad, sobre variables relacionadas con la capacidad funcional y movilidad en un grupo de adultos mayores, pero no valoraron sus efectos sobre la VRC.

La presente investigación tiene como propósito valorar los efectos agudos sobre la VRC en adultos mayores, específicamente en los parámetros de dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD y pNN50) y dominio frecuencia (banda LF, banda HF y cociente LF/HF), tras una sesión de ejercicio físico de 10 minutos a partir de posturas isométricas derivadas del método Pilates con cambios de posiciones en el espacio, la cual cuenta con la ventaja de poder realizarse en el hogar, son ejercicios reproducibles y de simple ejecución, además de requerir de poco tiempo y materiales (colchoneta o implemento de estructura similar y una silla).

4. HIPÓTESIS

H1: La realización de una sesión de ejercicio físico de 10 minutos en base a posturas isométricas provoca como efecto agudo, una disminución en los parámetros de dominio tiempo y un aumento de los parámetros de dominio frecuencia de la variabilidad del ritmo cardíaco en un grupo de adultos mayores.

5. OBJETIVO GENERAL

Valorar el efecto agudo de una sesión de ejercicio físico de 10 minutos en base a posturas isométricas sobre la variabilidad del ritmo cardíaco en un grupo de adultos mayores.

5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Analizar los efectos generados por una sesión de ejercicio físico de 10 minutos en base a posturas isométricas sobre los dominios de tiempo (FC, SDNN, RMSSD y pNN50) y frecuencia (banda LF, banda HF & LF/HF) de la variabilidad del ritmo cardíaco en un grupo de adultos mayores.
- b. Valorar el nivel de actividad física mediante el cuestionario IPAQ en un grupo de adultos mayores.
- c. Determinar la relación entre el nivel de actividad física y la variabilidad del ritmo cardíaco en un grupo de adultos mayores.
- d. Establecer la relación entre el índice de masa corporal y la variabilidad del ritmo cardíaco en un grupo de adultos mayores.

6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se presenta un estudio de carácter cuasiexperimental de tipo transversal y la población objetivo, será un grupo de adultos mayores que asisten a una unión comunal en la localidad de Huertos Familiares de la Villa San José de Tiltit. El muestreo será de tipo no probabilístico utilizando una estrategia bola de nieve, con el fin de identificar participantes potenciales en la población y que posteriormente, se recluten a través de una remisión en cadena.

6.1. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión son: Tener una edad de 60 a 80 años y poseer un nivel de independencia funcional que permita realizar la sesión de ejercicio físico y vivir en la localidad de Tiltit.

6.2. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión son: Presentar enfermedades cardíacas, renales, accidente cerebrovascular ocurrido en el último año y/o problema ortopédico que impida realizar la sesión de EF. También, cualquier uso de medicamentos que afecten directamente la actividad del SNA y medir la VRC (beta-bloqueadores del ritmo cardíaco, anfetaminas y antidepresivos) (Rocha et al., 2020).

7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS

7.1. Medición de iRR y análisis de la VRC

Antes de registrar los iRR, se recopiló información auto reportada del participante como el consumo de medicamentos, hábitos de actividad física actuales y pasados. Posteriormente, se registraron datos demográficos como el sexo, edad, peso corporal, talla e índice de masa corporal (IMC), los cuales fueron medidos por el investigador principal. Además, se advirtió a los participantes de los factores que pueden influir en el registro de los iRR, tales como el consumo de alimentos y/o bebidas estimulantes/depresoras del ritmo cardíaco, ruido ambiental, actividad física intensa y horas de sueño previas a la evaluación (Felber-Dietrich et al., 2006; Catai et al., 2020). El análisis temporal y espectral que proporciona información sobre la VRC se realizó en registros controlados de 10 minutos pre y post ejercicio (Cygankiewicz & Zareba, 2013), los cuales se desarrollaron en un sitio tranquilo, con una temperatura confortable para el participante y estandarizando el período del día (08:00 am – 11:00 am) para considerar las posibles influencias de los ritmos circadianos (Miyagi et al., 2019). Posterior a la recopilación de los antecedentes descritos anteriormente, se procedió a registrar los iRR. Para la medición de los iRR, los participantes estuvieron acostados en decúbito supino, en silencio, con una respiración tranquila y con los ojos cerrados durante 10 minutos (Liao et al., 2017). Después de realizar el protocolo de ejercicios (descrito en el apartado 7.3), inmediatamente se volvió a registrar los iRR en la posición descrita anteriormente durante 10 minutos. Cada participante fue evaluado dos veces en días distintos (con un día de separación entre cada evaluación) con el protocolo descrito anteriormente. Tanto para la medición pre y post ejercicio de los iRR, se consideraron solo los últimos 5 minutos de grabación para su posterior análisis. Los iRR fueron registrados con la banda cardíaca para pecho POLAR H10, la cual mantiene un excelente registro de los intervalos (calidad de señal del 99,4%), demostrando una alta validez de medición para esta variable (Gilgen-Ammann et al., 2019). Para el análisis de la VRC se utilizó el software HRV Kubios Premium, el cual calcula todos los parámetros de la VRC del dominio tiempo y dominio frecuencia y varios parámetros no lineales (Tarvainen et al. 2014; Alcantara et al., 2020).



Fig. 1. Esquema de medición de los iRR para el análisis de la VRC

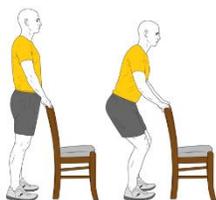
7.2. Valoración del nivel de actividad física

La valoración del nivel de actividad física se realizó a través del Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) para determinar la cantidad e intensidad de actividad física desarrollada durante los últimos 7 días y a partir de ello, categorizar a los adultos mayores con un nivel de actividad física bajo, moderado o alto. Este cuestionario presenta validez moderada/aceptable, para medir el nivel de actividad en comparación con las mediciones del acelerómetro (Cleland et al., 2018).

7.3. Protocolo de la sesión de ejercicio físico

La sesión de EF contó con una duración de 10 minutos, la cual estuvo compuesta por 4 ejercicios derivados del método Pilates, involucrando el trabajo de diferentes segmentos corporales y posiciones en el espacio mediante contracciones musculares de tipo isométrica. Cada ejercicio fue realizado en tandas de 3 series de 30 segundos cada uno y con 30 segundos de descanso entre cada serie y al cambiar de ejercicio. A partir de la FC en conjunto con la escala de percepción de esfuerzo (RPE) modificada para personas de edad avanzada que va del 1-10, se registró la intensidad del ejercicio (Morishita et al., 2019). La FC fue registrada al inicio y término de la sesión, mientras que la RPE fue controlada al terminar cada ejercicio y al final de la sesión para tener un registro verbal del participante sobre la intensidad. Previamente, el participante fue familiarizado con la escala para una mejor interpretación de ella. La sesión de

entrenamiento requirió de una colchoneta o implemento de contextura similar para los ejercicios que se ejecuten en decúbito supino o decúbito prono. La lista de ejercicios se detalla a continuación:



a. Sentadilla isométrica asistido por una silla



b. Flexo-extensión de codo en bipedestación con apoyo en una pared



c. Puente para glúteos en colchoneta



d. Extensión lumbar en colchoneta con brazos extendidos

7.4. Cálculo del tamaño muestral

Se calculó el tamaño muestral a partir de la comparación de dos medias y se consideró una prueba unilateral donde se acepta un riesgo de .05, y se desea una potencia estadística $(1 - \beta)$ del 80% para detectar si existen diferencias. Se obtuvo la varianza de la variable cuantitativa que tiene el grupo de referencia y el valor de “d”, que representa el valor mínimo de la diferencia que se desea detectar en función de los resultados de un estudio sobre los efectos en la VRC post EF en adultos mayores (Rocha et al., 2020). Este cálculo reveló que el tamaño muestral necesario fue de 32 participantes.

7.5. Requerimientos bioéticos

La investigación con sujetos humanos cumple con el beneficio directo centrado en la preferencia de las personas que participan intervenciones terapéuticas y tienen un rol activo dentro de la misma, por lo que cumple con las pautas de la Declaración de Helsinki y normas CONSORT para ensayos clínicos con seres humanos (Schulz et al., 2010; World Medical Association, 2013). Finalmente, la presente investigación fue aprobada por el Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos (CEISH) de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile (anexo 12.6).

7.6. Análisis estadístico

La distribución de los datos se analizó mediante pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk. Como más del 80% de los datos tuvo una distribución no normal, los resultados se expresaron con su mediana (valor mínimo y máximo), y se realizó un análisis estadístico no paramétrico. El análisis de diferencias pre y post ejercicio se realizó mediante una prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Para comparar las variables de la VRC basal en los dos días de evaluación, se aplicó una prueba Wilcoxon para muestras relacionadas. Se utilizó una prueba coeficiente de correlación Rho de Spearman para determinar si existe una relación entre el resultado obtenido en el cuestionario IPAQ y la VRC basal. Finalmente, se aplicó una prueba de coeficiente de correlación Rho de Spearman para establecer una relación entre el IMC y la VRC basal. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado como una diferencia estadísticamente significativa. Para el análisis estadístico se utilizó el software JAMOVIC® (versión 1.6.23 para Windows).

8. RESULTADOS

8.1. Características de la muestra

La muestra estuvo compuesta por 32 participantes (14 hombres y 18 mujeres) con una edad promedio de $67,8 \pm 6,4$ años. La talla y el peso corporal reflejaron medias de $1,61 \pm 0,09$ m y $72,2 \pm 11,2$ kg respectivamente, y el Índice de Masa Corporal (IMC) presentó un promedio $27,6 \pm 4,34$ kg/m². A continuación, se presentan el diagrama de flujo para el reclutamiento, los antecedentes patológicos autoreportados presentes en la muestra y el consumo de medicamentos por parte de los participantes.

Figura 1. Diagrama de flujo para el reclutamiento

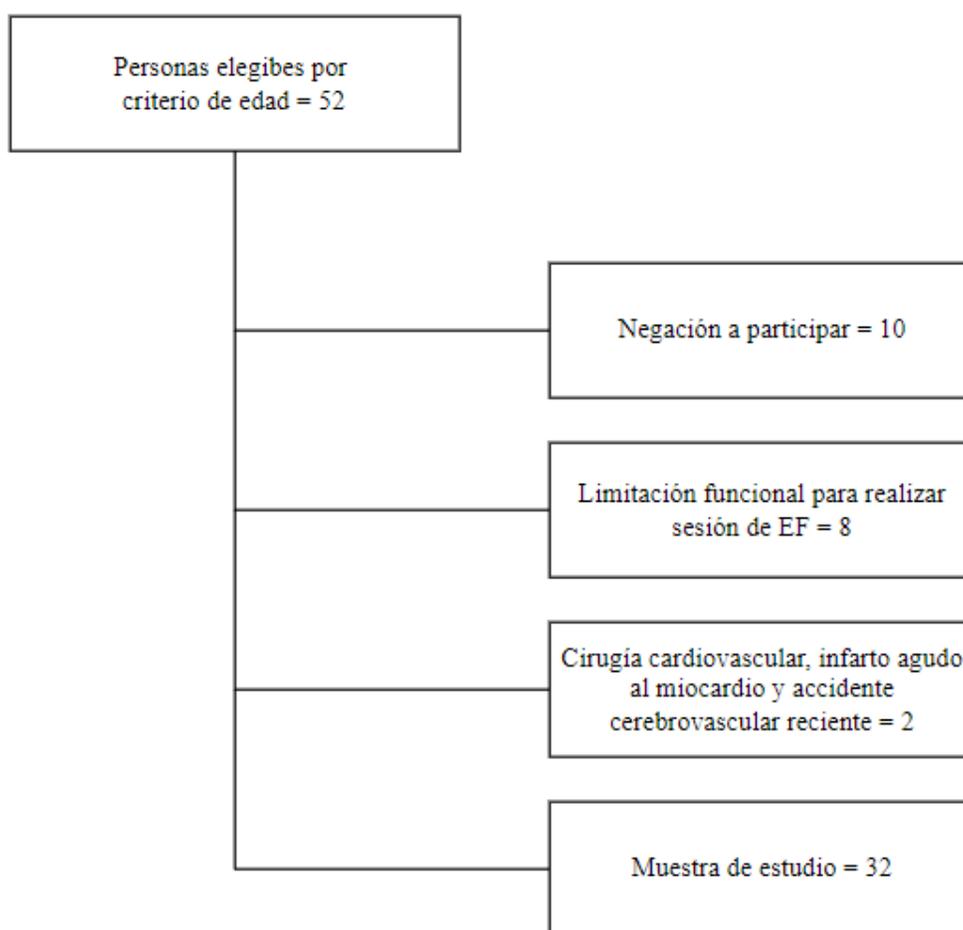


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de la muestra.

Tabla 1. Antecedentes de enfermedades autoreportadas de la muestra.

| Enfermedades | Prevalencia |
|--|--------------------|
| Hipertensión arterial | 15/32 |
| Diabetes mellitus 2 | 8/32 |
| Hipotiroidismo | 7/32 |
| Artrosis | 7/32 |
| Gastritis | 3/32 |
| Colon irritable | 3/32 |
| Dislipidemia | 2/32 |
| Resistencia a la insulina, Celiaquía, Fibromialgia | 1/32 |

Tabla 2. Administración de medicamentos de los participantes.

| Medicamentos | Prevalencia |
|------------------------|--------------------|
| Losartán | 11/32 |
| Metformina | 10/32 |
| Atorvastatina | 10/32 |
| Ácido acetilsalicílico | 8/32 |
| Eutirox | 4/32 |
| Rosuvastatina | 2/32 |
| Levotiroxina | 2/32 |

A continuación, se presentan los valores descriptivos obtenidos en el análisis de los iRR en los dos días de evaluación y los dos momentos de medición (pre y post ejercicio). De las 128 mediciones realizadas (4 registros por cada participante), se perdieron 3 registros por fallas en el sistema de adquisición de datos de los iRR.

8.2. Cambios en las variables de los dominios tiempo y frecuencia de la VRC en función del momento de la sesión con sus respectivos pre y post test.

| Parámetro VRC | Día 1 | | | Día 2 | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|----------|
| | PRE (n= 31) | POST (n=30) | <i>p</i> | PRE (n=31) | POST (n=32) | <i>p</i> |
| FCM (lpm) | 65,6 [54,2 – 109] | 67,5 [55,2 – 78,1] | 0,28 | 69,1 [56,3 – 88,9] | 67,6 [55,3 – 84,5] | 0,15 |
| SDNN (ms) | 24,8 [13,8 – 351] | 26,4 [11,9 – 112] | 0,82 | 29,6 [13,3 – 55,7] | 30,6 [10,9 – 107] | 0,94 |
| RMSSD (ms) | 18,6 [5 – 115] | 16,8 [5 – 213] | 0,93 | 15,5 [4,1 – 44,9] | 16,5± [4 – 65,3] | 0,61 |
| pNN50 (%) | 0,3 [0,0 – 52,0] | 0,4 [0,0 – 81,7] | 0,80 | 0,3 [0,0 – 33,9] | 0,7 [0,0 – 32,6] | 0,79 |
| LF (ms ²) | 119 [25 – 3799] | 111 [9 – 1425] | 0,79 | 103 [7 – 1574] | 101 [12 – 856] | 0,32 |
| ln LF (ms ²) | 4,8 [3,2 – 10,4] | 4,7 [2,2 – 7,3] | 0,77 | 4,6 [1,9 – 7,4] | 4,6 [2,5 – 6,8] | 0,54 |
| HF (ms ²) | 84 [4 – 5645] | 101 [6 – 647] | 0,71 | 73 [2 - 1073] | 92 [2 – 1315] | 0,36 |
| ln HF (ms ²) | 4,4 [1,4 – 8,6] | 4,6 [1,8 – 6,5] | 0,45 | 4,3 [0,7 – 7] | 4,5 [0,7 – 7,2] | 0,69 |
| LF/HF | 1,4 [0,1 – 9,1] | 1,2 [0,1 – 13,6] | 0,53 | 1,1 [0,0 – 35,8] | 1,1 [0,1 – 11,2] | 0,63 |

Tabla 3. Cambios en las variables dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC (pre y post test) en los 2 días de medición.

Notas: Las variables están expresadas con su mediana [mínimo-máximo]. Los parámetros del dominio frecuencia (LF y HF) están expresados en valores absolutos y con su logaritmo natural (ln). FCM: frecuencia cardíaca media, SDNN: desviación estándar de los intervalos RR normales, RMSSD: desviación estándar de la raíz cuadrada de los promedios entre los intervalos RR consecutivos, pNN50: porcentaje de intervalos RR sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms, LF: banda de baja frecuencia, HF: banda de alta frecuencia, LF/HF: cociente entre banda de baja y alta frecuencia, lpm: latidos por minuto, ms: milisegundos, %: porcentaje, ms²: milisegundos al cuadrado, *p*: nivel de significancia.

En el día uno, no se observaron cambios en las variables del dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD y pNN50), ni en las variables del dominio frecuencia (LF, HF y LF/HF) posterior a la sesión de ejercicio físico. Respecto al día 2, tampoco se observaron cambios en las variables del dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC post ejercicio.

8.3. Comparación de muestras pareadas en función del momento de la sesión en el pretest.

Con el propósito de saber si los resultados de la VRC basal pudieran estar condicionados por diferencias entre los días en que los participantes fueron evaluados, se compararon los resultados obtenidos en ambos días previo a la realización del protocolo de ejercicio físico.

| Parámetro VRC | Día 1 (pre) (n=31) | Día 2 (pre) (n=31) | <i>p</i> |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| FCM (lpm) | 65,6 [54,2 – 109] | 69,1 [56,3 – 88,9] | 0,39 |
| SDNN (ms) | 24,8 [13,8 – 351] | 29,6 [13,3 – 55,7] | 0,33 |
| RMSSD (ms) | 18,6 [5 – 115] | 15,5 [4,1 – 44,9] | 0,82 |
| pNN50 (%) | 0,3 [0,0 – 52,0] | 0,3 [0,0 – 33,9] | 0,80 |
| LF (ms ²) | 119 [25 – 3799] | 103 [7 – 1574] | 0,84 |
| ln LF (ms ²) | 4,8 [3,2 – 10,4] | 4,6 [1,9 – 7,4] | 0,60 |
| HF (ms ²) | 84 [4 – 5645] | 73 [2 – 1073] | 0,33 |
| ln HF (ms ²) | 4,4 [1,4 – 8,6] | 4,3 [0,7 – 7] | 0,28 |
| LH/HF | 1,4 [0,1 – 9,1] | 1,1 [0,0 – 35,8] | 0,29 |

Tabla 4. Comparación de muestras pareadas respecto al pre-test de los dos días de evaluación.

Notas: Las variables están expresadas con su mediana [mínimo-máximo]. Los parámetros del dominio frecuencia (LF y HF) están expresados en valores absolutos y con su logaritmo natural (ln). FCM: frecuencia cardíaca media, SDNN: desviación estándar de los intervalos RR normales, RMSSD: desviación estándar de la raíz cuadrada de los promedios entre los intervalos RR consecutivos, pNN50: porcentaje de intervalos RR sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms, LF: banda de baja frecuencia, HF: banda de alta frecuencia, LF/HF: cociente entre banda de baja y alta frecuencia, lpm: latidos por minuto, ms: milisegundos, %: porcentaje, ms²: milisegundos al cuadrado, *p*: nivel de significancia.

Respecto a las comparaciones de los pretest en los dos días de evaluación, no se encontraron diferencias en los parámetros del dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD, pNN50) y dominio frecuencia (LF, HF, LF/HF) de la VRC.

8.3.1. Análisis por género de la VRC basal

A continuación se presentan los análisis por género de algunos parámetros del dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC de reposo.

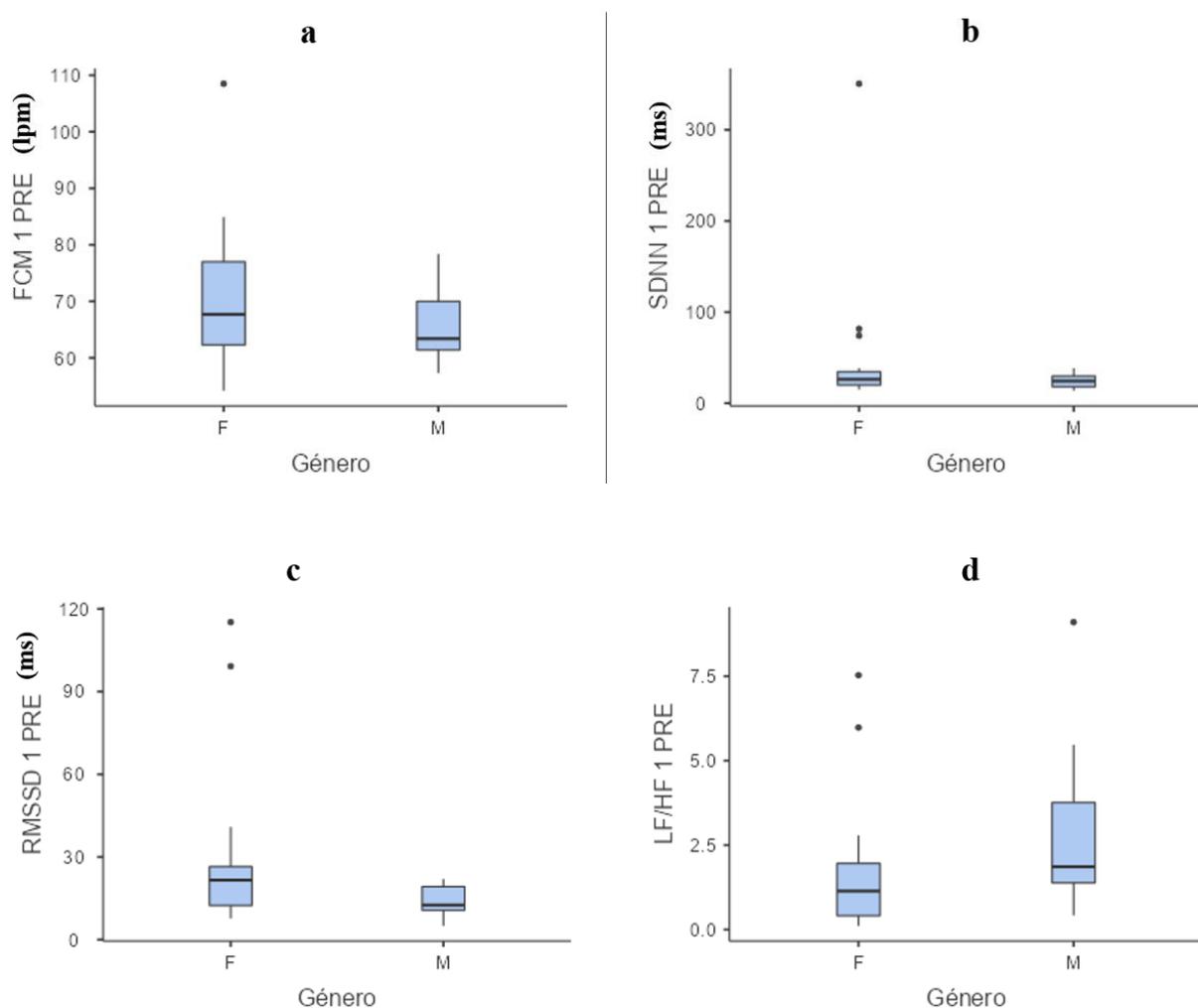


Gráfico 1 (a-d). Análisis de la VRC basal por género.

Notas: FCM: frecuencia cardíaca media, SDNN: desviación estándar de los intervalos RR normales, RMSSD: desviación estándar de la raíz cuadrada de los promedios entre los intervalos RR consecutivos, LF/HF: cociente entre banda de baja y alta frecuencia, lpm: latidos por minuto, ms: milisegundos, PRE: pre-ejercicio, F: femenino, M: masculino.

Al comparar por género, no se observaron diferencias entre hombres y mujeres en los parámetros de dominio tiempo (FCM, SDNN, RMSSD, pNN50) y dominio frecuencia (LF, HF, LF/HF) de la VRC previo al protocolo de ejercicio.

8.4. Relación del nivel de actividad física y la VRC

A continuación, se presentan los datos descriptivos obtenidos en el cuestionario IPAQ y la relación entre el nivel de actividad física y la VRC basal.

Tabla 5. Datos descriptivos obtenidos en el cuestionario IPAQ

| Nivel IPAQ | Cantidad |
|------------|----------|
| Alto | 9 |
| Medio | 12 |
| Bajo | 11 |

Notas. IPAQ: Cuestionario Internacional de Actividad Física.

En el cuestionario IPAQ, 9 participantes registran altos niveles de actividad física, 12 de nivel medio y 11 de nivel bajo.

Gráfico 2 (a-e). Relación entre el resultado obtenido en el cuestionario IPAQ y la VRC basal.

A continuación, se presentan los gráficos que muestran la relación entre la clasificación obtenida en el cuestionario IPAQ (1= nivel bajo, 2= nivel moderado, 3= nivel alto) y los parámetros de dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC basal.

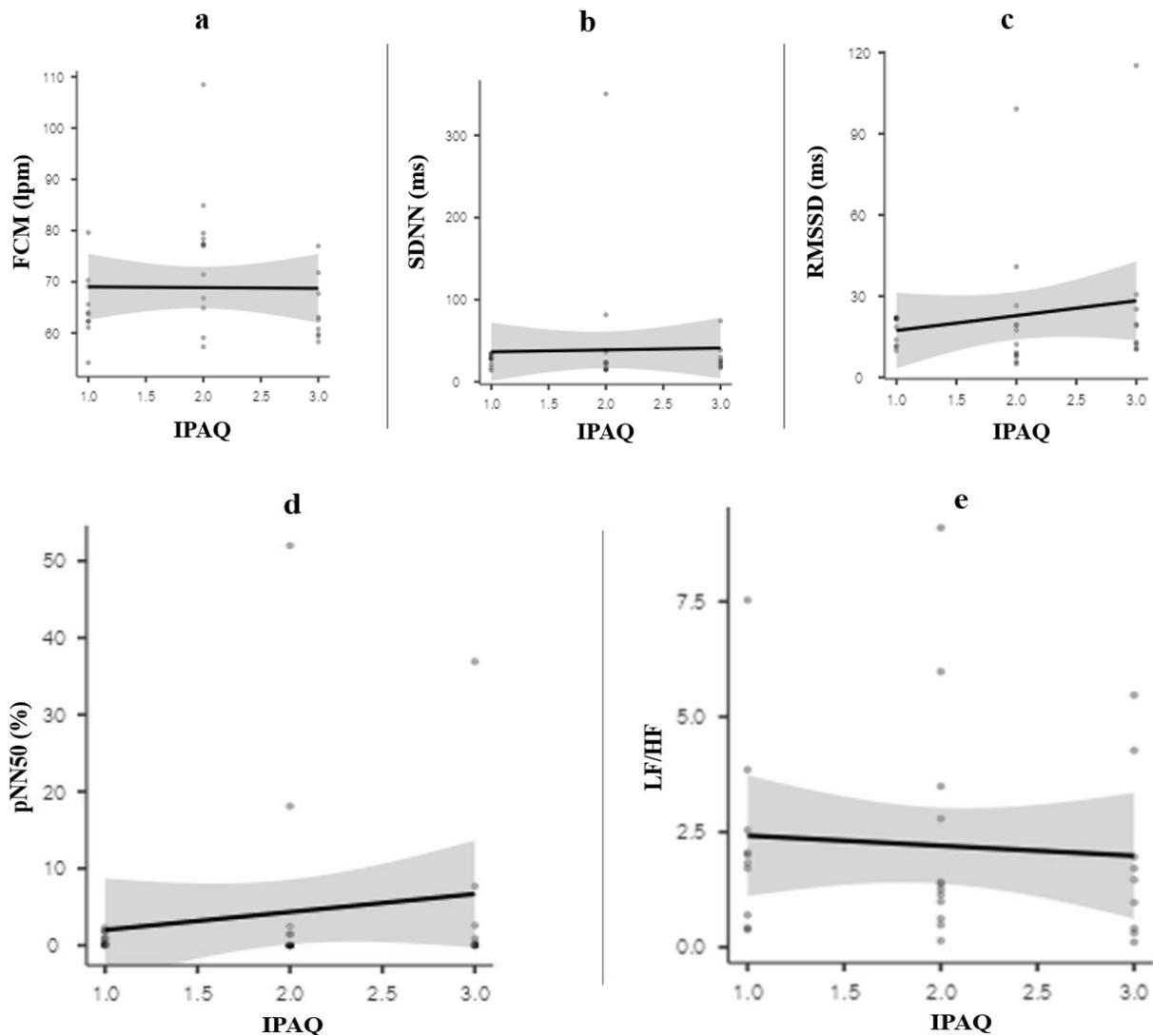


Gráfico 2 (a-e). Relación entre el nivel de actividad física y la VRC basal.

Notas: IPAQ: Cuestionario Internacional de Actividad Física; FCM: frecuencia cardíaca media, SDNN: desviación estándar de los intervalos RR normales, RMSSD: desviación estándar de la raíz cuadrada de los promedios entre los intervalos RR consecutivos, pNN50: porcentaje de intervalos RR sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms, LF: banda de baja frecuencia, HF: banda de alta frecuencia, LF/HF: cociente entre banda de baja y alta frecuencia, lpm: latidos por minuto, ms: milisegundos, %: porcentaje.

No se observó una relación entre los parámetros de dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD, pNN50) y dominio frecuencia (LF, HF, LF/HF) de la VRC basal y el nivel de actividad física estimado por el cuestionario IPAQ al comparar los tres grupos (nivel de actividad física alto, moderado y bajo).

8.5. Relación entre el IMC y la VRC basal.

A continuación, se presentan los gráficos que muestran la relación entre el IMC de los participantes y los parámetros de dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC basal.

De acuerdo con los resultados expuestos en los gráficos, no se observó una relación entre el IMC de los participantes y los parámetros de dominio tiempo (FC, SDNN, RMSSD, pNN50) y dominio frecuencia (LF, HF, LF/HF) de la VRC basal.

Gráfico 3 (a-g). Relación entre el IMC y la VRC basal.

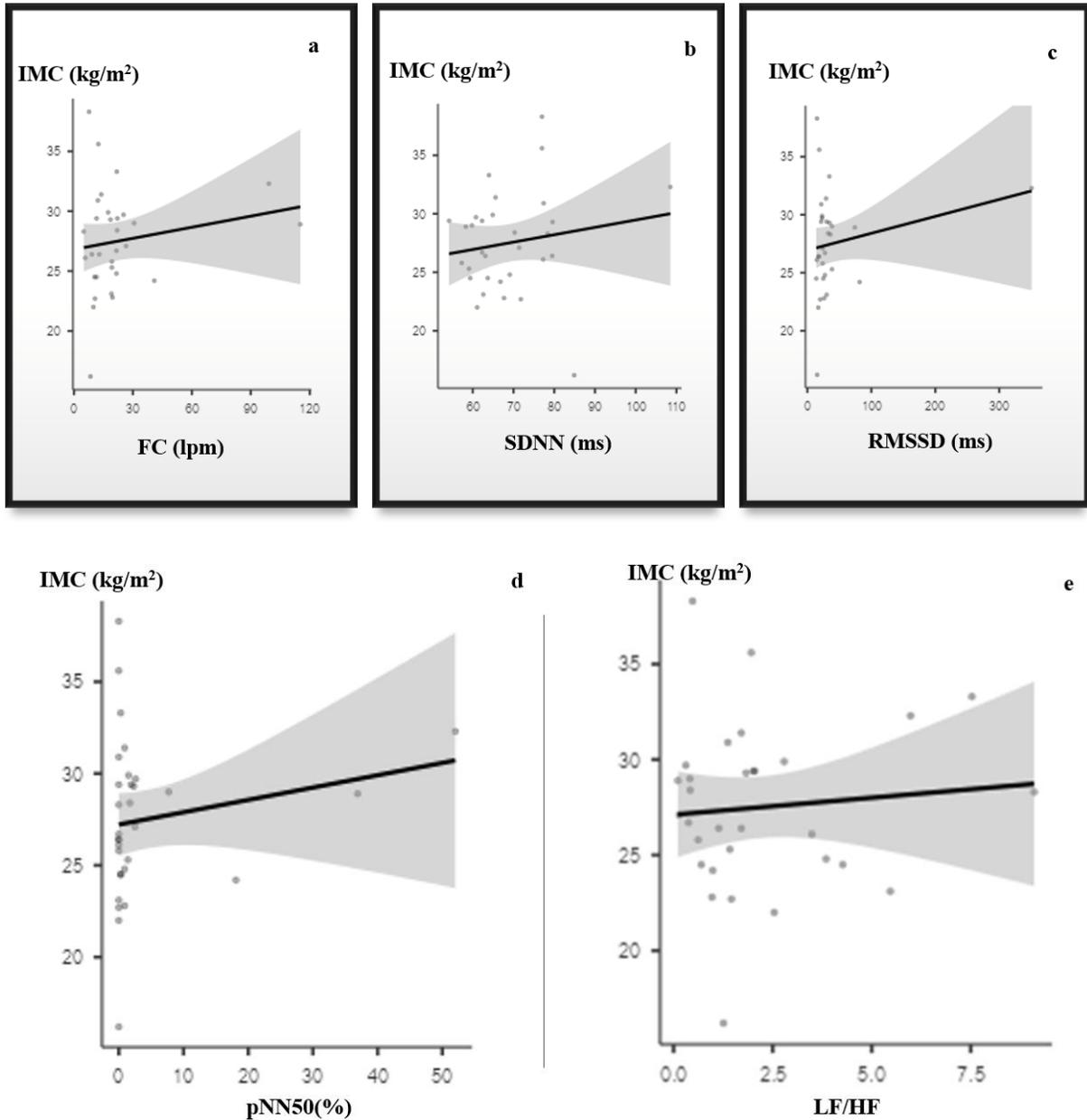


Gráfico 3 (a-e). Relación entre el IMC y la VRC basal.

Notas: IMC: Índice de masa corporal, FCM: frecuencia cardíaca media, SDNN: desviación estándar de los intervalos RR normales, RMSSD: desviación estándar de la raíz cuadrada de los promedios entre los intervalos RR consecutivos, pNN50: porcentaje de intervalos RR sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms, LF: banda de baja frecuencia, HF: banda de alta frecuencia, LF/HF: cociente entre banda de baja y alta frecuencia, lpm: latidos por minuto, ms: milisegundos, %: porcentaje, kg/m²: kilogramos/metro al cuadrado.

9. DISCUSIÓN

El análisis de la VRC es una herramienta clínica atractiva para evaluar e identificar el comportamiento de la función autónoma cardíaca en diferentes poblaciones (Catai et al., 2020). Este estudio tuvo como objetivo valorar los efectos agudos de una sesión de ejercicio físico de 10 minutos y posterior recuperación sobre parámetros del dominio tiempo (FCM, SDNN, RMSSD y pNN50) y del dominio frecuencia (banda LF, HF y LF/HF). Estas variables se analizaron comparando la medición en reposo y recuperación a corto plazo post ejercicio (5 minutos) a cada participante del estudio en dos días distintos (con un día de separación entre cada medición) durante la jornada de la mañana. No se observaron cambios significativos en ninguno de los parámetros de la VRC contemplados en este estudio, en ambos días de evaluación. Por lo tanto, la hipótesis no se ha logrado validar en esta investigación. Estos cambios son similares a los reportados en el estudio de Silva et al. (2021), en el cual aplicaron una sesión de ejercicio isométrico para bíceps braquial con una duración de 10 minutos y que tampoco generó cambios en los índices de la VRC postejercicio (5-25 minutos). Los hallazgos encontrados en el presente estudio podrían explicarse debido a que la sesión de EF no fue un estímulo suficiente para modificar la actividad de ambas ramas del SNA o también, a que el tiempo de reposo empleado en el protocolo previo al análisis de la VRC (5 minutos), permitió a los participantes retornar a sus valores basales. Desde una perspectiva fisiológica, las respuestas encontradas en ambos días podrían estar asociadas a que la sesión de EF no logró generar una descarga neural que aumentara la actividad de las células marcapasos, ni de sus mecanismos intrínsecos, tales como la actividad de los canales iónicos y conexinas internas de Ca^{2+} o en el potencial de acción espontáneo. A su vez, también podría estar asociado a que no se modificó la actividad o capacidad de respuesta en la señalización de la vía AC - AMPc – PKA y/o de la vía CAMKII - AC, lo que finalmente no logró aumentar de manera significativa los niveles de Ca^{2+} intracelular. Por lo tanto, en ambos días de evaluación los impulsos neurales simpáticos y capacidad de respuesta de los intervalos cardíacos frente a la estimulación de los receptores β -adrenérgicos y/o colinérgicos en las células marcapasos podría haber estado reducida a pesar de recibir un estímulo que podría haber modulado su actividad como el EF. En el envejecimiento, se ha observado una remodelación de las células del NSA en sujetos que no necesariamente presentan cardiopatías o alteraciones que puedan entregar un diagnóstico clínico de enfermedades cardíacas, pero esta remodelación se ha asociado con una ralentización en la

velocidad de conducción y voltaje del potencial de acción de las células marcapasos, lo que disminuye la reserva fisiológica del NSA (Kistler et al., 2004; Haqqani & Kalman, 2007). Los potenciales de acción sinoauriculares también carecen de la fase de repolarización transitoria y la fase de meseta es considerablemente menos pronunciada, lo que evitaría cambios en su forma de onda característica, incluso al realizar un estímulo que podría modificar su estructura como el EF (Peters et al., 2020).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los dos días al momento de realizar el pretest, por lo que realizar solo una sesión de EF para valorar los efectos agudos y posterior recuperación sobre los parámetros de la VRC puede ser factible, considerando los resultados encontrados en la presente investigación.

En este estudio no se observó una relación significativa entre los niveles de actividad física y la VRC basal, a pesar de que mayores niveles de actividad física pueden generar mejoras en los diferentes parámetros de la VRC (Soares-Miranda et al., 2014; Natarajan et al., 2020). El hecho de que en el presente estudio no se encontraran relaciones entre el nivel de actividad física y la VRC basal, podría estar asociado a que realizar una mayor cantidad de actividad física no necesariamente genera una mejora en los parámetros de la VRC, debido a una posible inhibición del control barorreflejo de la FC en edades avanzadas, lo que evitaría un cambio en su respuesta. (Reland et al., 2003; Teixeira et al., 2018). Tampoco se encontró una asociación entre la VRC basal y el IMC de los participantes, a pesar de que un estudio retrospectivo de cohortes longitudinales reportó que los sujetos con un $IMC > 30 \text{ kg/m}^2$ presentaron una mayor VRC (Quer et al., 2020). Sin embargo, un estudio de Föhr et al. (2016) reportó que un IMC más alto se asocia con un mayor índice de estrés cardíaco, un desbalance autonómico con predominancia de la rama simpática en reposo y un índice de recuperación cardíaco más bajo. Otro estudio transversal de Almeida-Santos et al. (2016), demostró que los parámetros de dominio tiempo disminuían linealmente con la edad, en mujeres y pacientes diabéticos. El hecho de que en este estudio no se encontrara una relación entre el IMC y la VRC, podría explicarse debido a que los adultos mayores que presentan un IMC elevado pueden atenuar los cambios en la VRC, por el consumo de medicamentos que pueden influir en la modulación autonómica que se ve afectada con el paso de los años.

En cuanto a las fortalezas de la presente investigación, se puede destacar que no se reportan estudios similares con las características de este estudio, lo que podría aportar a dilucidar aspectos sobre la función autónoma de los adultos mayores, especialmente en Chile. Además, la intervención contempla un método no invasivo tanto para el registro de los iRR (manifestación superficial), como el bajo estrés autonómico generado por la sesión de EF en los adultos mayores participantes. Los ejercicios son relativamente simples para principiantes y cumplen con las recomendaciones establecidas por el Colegio Americano de Medicina Deportiva para adultos mayores y por lo tanto, la sesión de EF realizada en la intervención es segura y también, requiere de poco tiempo y materiales (Garber et al., 2011). Otro punto importante, es que se controlaron variables que podían influir en la medición de los iRR como el ruido, temperatura ambiental, período del día y consumo de alimentos y/o bebidas que puedan modificar la actividad de los latidos cardíacos. Además, se logró coordinar el horario con los participantes para que las mediciones se realizarán con un día de separación y a la misma hora en ambos días de evaluación. Por otra parte, alrededor de un 70% de los participantes del estudio recibían fármacos concomitantes como bloqueadores de los receptores de angiotensina, inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina, reguladores de la captación de glucosa a nivel intramuscular y reguladores de la liberación de hormonas tiroideas, las cuales pueden atenuar la respuesta de los parámetros de la VRC frente a la realización de EF (Celik et al., 2011; Nyström et al., 2019; Prasertsri et al., 2022). Sin embargo, cabe destacar que es muy difícil encontrar adultos mayores que no reciban medicación y por lo tanto, la muestra del presente estudio se caracteriza por ser bastante homogénea, ya que un alto porcentaje de ellos recibían el mismo tipo de administración farmacológica.

Dentro de las limitaciones existentes en la realización del estudio, se podría destacar la complejidad de controlar algunos factores que pueden afectar la VRC, como la calidad del sueño durante la noche anterior a la evaluación, ya que puede modular los mecanismos reguladores de la función neuro-cardíaca (Grässler et al., 2021). Además, los hallazgos encontrados solo son representativos para la muestra contemplada en esta investigación. Por lo tanto, se necesitarán de más estudios donde los factores que afecten a la VRC puedan ser rigurosamente controlados y puedan evaluarse durante una mayor cantidad de días consecutivos y en las condiciones adecuadas. Por otra parte, se deben seguir realizando ensayos clínicos en los cuales se modifiquen variables del entrenamiento (duración, intensidad, tipo de contracción muscular y

ejercicios) contempladas en este estudio para que puedan generar una mayor respuesta en los parámetros de la VRC. Finalmente, deben realizarse estudios de carácter multicéntrico, con el fin de seguir esclareciendo aspectos relacionados con el rol terapéutico que podría tener el EF sobre la función autonómica de los adultos mayores.

10. CONCLUSIONES

En la presente investigación, no se observaron cambios significativos en los parámetros de dominio tiempo y dominio frecuencia de la VRC, posterior a una sesión de 10 minutos con ejercicios isométricos y cambios de posición en el espacio. El registro y análisis de la VRC debe considerarse como una herramienta para establecer un pronóstico temprano de la salud cardíaca y desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, aún se requiere de reproductibilidad en el área clínica para generar facilidades en el análisis y predecir las alteraciones en la VRC de manera más oportuna.

11. REFERENCIAS

- Alcantara, J., Plaza-Florido, A., Amaro-Gahete, F. J., Acosta, F. M., Migueles, J. H., Molina-Garcia, P., Sacha, J., Sanchez-Delgado, G., & Martinez-Tellez, B. (2020). Impact of Using Different Levels of Threshold-Based Artefact Correction on the Quantification of Heart Rate Variability in Three Independent Human Cohorts. *Journal of clinical medicine*, 9(2), 325. <https://doi.org/10.3390/jcm9020325>
- Almeida-Santos, M. A., Barreto-Filho, J. A., Oliveira, J. L., Reis, F. P., da Cunha Oliveira, C. C., & Sousa, A. C. (2016). Aging, heart rate variability and patterns of autonomic regulation of the heart. *Archives of gerontology and geriatrics*, 63, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.11.011>
- Bishop, N. A., Lu, T., & Yankner, B. A. (2010). Neural mechanisms of ageing and cognitive decline. *Nature*, 464(7288), 529–535. <https://doi.org/10.1038/nature08983>
- Brodde, O. E., & Leineweber, K. (2004). Autonomic receptor systems in the failing and aging human heart: similarities and differences. *European journal of pharmacology*, 500(1-3), 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2004.07.022>
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J. P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., DiPietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., Lambert, E., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British journal of sports medicine*, 54(24), 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Catai, A. M., Pastre, C. M., Godoy, M. F., Silva, E. D., Takahashi, A., & Vanderlei, L. (2020). Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian journal of physical therapy*, 24(2), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006>

Celik, A., Aytan, P., Dursun, H., Koc, F., Ozbek, K., Sagcan, M., Kadi, H., Ceyhan, K., Onalan, O., & Onrat, E. (2011). Heart rate variability and heart rate turbulence in hypothyroidism before and after treatment. *Annals of noninvasive electrocardiology : the official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc*, 16(4), 344–350. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2011.00461.x>

Cleland, C., Ferguson, S., Ellis, G., & Hunter, R. F. (2018). Validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) for assessing moderate-to-vigorous physical activity and sedentary behaviour of older adults in the United Kingdom. *BMC medical research methodology*, 18(1), 176. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0642-3>

Crombie, K. M., Leitzelar, B. N., Almassi, N. E., Mahoney, J. E., & Koltyn, K. F. (2019). Translating a "Stand Up and Move More" intervention by state aging units to older adults in underserved communities: Protocol for a randomized controlled trial. *Medicine*, 98(27), e16272. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016272>

Cygankiewicz, I., & Zareba, W. (2013). Heart rate variability. *Handbook of clinical neurology*, 117, 379–393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00031-6>

de Medeiros, M., Carletti, T. M., Magno, M. B., Maia, L. C., Cavalcanti, Y. W., & Rodrigues-Garcia, R. (2020). Does the institutionalization influence elderly's quality of life? A systematic review and meta-analysis. *BMC geriatrics*, 20(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12877-020-1452-0>

de Paula, T., Neves, M. F., da Silva Itaborahy, A., Monteiro, W., Farinatti, P., & Cunha, F. A. (2019). Acute Effect of Aerobic and Strength Exercise on Heart Rate Variability and Baroreflex Sensitivity in Men With Autonomic Dysfunction. *Journal of strength and conditioning research*, 33(10), 2743–2752. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002372>

Felber Dietrich, D., Schindler, C., Schwartz, J., Barthélémy, J. C., Tschopp, J. M., Roche, F., von Eckardstein, A., Brändli, O., Leuenberger, P., Gold, D. R., Gaspoz, J. M., Ackermann-Liebrich, U., & SAPALDIA Team (2006). Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*, 8(7), 521–529. <https://doi.org/10.1093/europace/eul063>

Fenske, S., Hennis, K., Rötzer, R. D., Brox, V. F., Becirovic, E., Scharr, A., Gruner, C., Ziegler, T., Mehlfeld, V., Brennan, J., Efimov, I. R., Pauža, A. G., Moser, M., Wotjak, C. T., Kupatt, C., Gönner, R., Zhang, R., Zhang, H., Zong, X., Biel, M., ... Wahl-Schott, C. (2020). cAMP-dependent regulation of HCN4 controls the tonic entrainment process in sinoatrial node pacemaker cells. *Nature communications*, 11(1), 5555. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19304-9>

Fenske, S., Pröbstle, R., Auer, F., Hassan, S., Marks, V., Pauza, D. H., Biel, M., & Wahl-Schott, C. (2016). Comprehensive multilevel in vivo and in vitro analysis of heart rate fluctuations in mice by ECG telemetry and electrophysiology. *Nature protocols*, 11(1), 61–86. <https://doi.org/10.1038/nprot.2015.139>

Ferrari, G., Kovalskys, I., Fisberg, M., Gómez, G., Rigotti, A., Sanabria, L., García, M., Torres, R., Herrera-Cuenca, M., Zimberg, I. Z., Guajardo, V., Pratt, M., Pires, C., Colley, R. C., Solé, D., & ELANS Study Group (2020). Comparison of self-report versus accelerometer - measured physical activity and sedentary behaviors and their association with body composition in Latin American countries. *PloS one*, 15(4), e0232420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232420>

Föhr, T., Pietilä, J., Helander, E., Myllymäki, T., Lindholm, H., Rusko, H., & Kujala, U. M. (2016). Physical activity, body mass index and heart rate variability-based stress and recovery in 16 275 Finnish employees: a cross-sectional study. *BMC public health*, 16, 701. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3391-4>

Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. *Journal of strength and conditioning research*, 33(8), 2019–2052. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003230>

Galetta, F., Franzoni, F., Tocchini, L., Camici, M., Milanesi, D., Belatti, F., Speziale, G., Rossi, M., Gaudio, C., Carpi, A., & Santoro, G. (2013). Effect of physical activity on heart rate variability and carotid intima-media thickness in older people. *Internal and emergency medicine*, 8 Suppl 1, S27–S29. <https://doi.org/10.1007/s11739-013-0919-9>

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P., & American College of Sports Medicine (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(7), 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>

Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European journal of applied physiology*, 119(7), 1525–1532. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04142-5>

Goldberger, J. J., Arora, R., Buckley, U., & Shivkumar, K. (2019). Autonomic Nervous System Dysfunction: JACC Focus Seminar. *Journal of the American College of Cardiology*, 73(10), 1189–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.064>

Grässler, B., Dordevic, M., Herold, F., Darius, S., Langhans, C., Halfpaap, N., Labott, B. K., Müller, P., Ammar, A., Thielmann, B., Böckelmann, I., Müller, N. G., & Hökelmann, A. (2021). Relationship between Resting State Heart Rate Variability and Sleep Quality in Older Adults with Mild Cognitive Impairment. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 13321. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413321>

Hayano, J., & Yuda, E. (2019). Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability. *Journal of physiological anthropology*, 38(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40101-019-0193-2>

Haqqani, H. M., & Kalman, J. M. (2007). Aging and sinoatrial node dysfunction: musings on the not-so-funny side. *Circulation*, 115(10), 1178–1179. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.685248>

Karemaker J. M. (2017). An introduction into autonomic nervous function. *Physiological measurement*, 38(5), R89–R118. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa6782>

Kemp, A. H., & Quintana, D. S. (2013). The relationship between mental and physical health: insights from the study of heart rate variability. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 89(3), 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.06.018>

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>

Kistler, P. M., Sanders, P., Fynn, S. P., Stevenson, I. H., Spence, S. J., Vohra, J. K., Sparks, P. B., & Kalman, J. M. (2004). Electrophysiologic and electroanatomic changes in the human atrium associated with age. *Journal of the American College of Cardiology*, 44(1), 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.03.044>

Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger, J. T., Jr (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of noninvasive electrocardiology: the official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc*, 10(1), 88–101. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x>

Królak, A., Wiktorski, T., Bjørkavoll-Bergseth, M. F., & Ørn, S. (2020). Artifact Correction in Short-Term HRV during Strenuous Physical Exercise. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(21), 6372. <https://doi.org/10.3390/s20216372>

Lahiri, M. K., Kannankeril, P. J., & Goldberger, J. J. (2008). Assessment of autonomic function in cardiovascular disease: physiological basis and prognostic implications. *Journal of the American College of Cardiology*, 51(18), 1725–1733. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.01.038>

- Lakatta, E. G., Maltsev, V. A., & Vinogradova, T. M. (2010). A coupled SYSTEM of intracellular Ca²⁺ clocks and surface membrane voltage clocks controls the timekeeping mechanism of the heart's pacemaker. *Circulation research*, 106(4), 659–673. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.109.206078>
- Larson, E. D., St Clair, J. R., Sumner, W. A., Bannister, R. A., & Proenza, C. (2013). Depressed pacemaker activity of sinoatrial node myocytes contributes to the age-dependent decline in maximum heart rate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(44), 18011–18016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308477110>
- Liao, C. D., Tsauo, J. Y., Hsiao, D. J., Liou, T. H., Huang, S. W., & Lin, L. F. (2017). Association of physical capacity with heart rate variability based on a short-duration measurement of resting pulse rate in older adults with obesity. *PloS one*, 12(12), e0189150. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189150>
- Liu, J., Sirenko, S., Juhaszova, M., Sollott, S. J., Shukla, S., Yaniv, Y., & Lakatta, E. G. (2014). Age-associated abnormalities of intrinsic automaticity of sinoatrial nodal cells are linked to deficient cAMP-PKA-Ca (2+) signaling. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 306(10), H1385–H1397. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00088.2014>
- Lorenz, D., & Morrison, S. (2015). CURRENT CONCEPTS IN PERIODIZATION OF STRENGTH AND CONDITIONING FOR THE SPORTS PHYSICAL THERAPIST. *International journal of sports physical therapy*, 10(6), 734–747.
- Magyar, J., Kistamás, K., Váczi, K., Hegyi, B., Horváth, B., Bányász, T., Nánási, P. P., & Szentandrassy, N. (2016). Concept of relative variability of cardiac action potential duration and its test under various experimental conditions. *General physiology and biophysics*, 35(1), 55–62. https://doi.org/10.4149/gpb_2015019
- Mallery, L. H., MacDonald, E. A., Hubley-Kozey, C. L., Earl, M. E., Rockwood, K., & MacKnight, C. (2003). The feasibility of performing resistance exercise with acutely ill hospitalized older adults. *BMC geriatrics*, 3, 3. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-3-3>

Mañas, A., Del Pozo-Cruz, B., Rodríguez-Gómez, I., Leal-Martín, J., Losa-Reyna, J., Rodríguez-Mañas, L., García-García, F. J., & Ara, I. (2019). Dose-response association between physical activity and sedentary time categories on ageing biomarkers. *BMC geriatrics*, 19(1), 270. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1284-y>

Mantantzis, K., Schlaghecken, F., & Maylor, E. A. (2020). Heart Rate Variability Predicts Older Adults' Avoidance of Negativity. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 75(8), 1679–1688. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby148>

Mittaz-Hager, A. G., Mathieu, N., Lenoble-Hoskovec, C., Swanenburg, J., de Bie, R., & Hilfiker, R. (2019). Effects of three home-based exercise programmes regarding falls, quality of life and exercise-adherence in older adults at risk of falling: protocol for a randomized controlled trial. *BMC geriatrics*, 19(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12877-018-1021-y>

Miyagi, R., Sasawaki, Y., & Shiotani, H. (2019). The influence of short-term sedentary behavior on circadian rhythm of heart rate and heart rate variability. *Chronobiology international*, 36(3), 374–380. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1550422>

Morishita, S., Tsubaki, A., Nakamura, M., Nashimoto, S., Fu, J. B., & Onishi, H. (2019). Rating of perceived exertion on resistance training in elderly subjects. *Expert review of cardiovascular therapy*, 17(2), 135–142. <https://doi.org/10.1080/14779072.2019.1561278>

Nánási, P. P., Magyar, J., Varró, A., & Ördög, B. (2017). Beat-to-beat variability of cardiac action potential duration: underlying mechanism and clinical implications. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 95(10), 1230–1235. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2016-0597>

Natarajan, A., Pantelopoulos, A., Emir-Farinas, H., & Natarajan, P. (2020). Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study. *The Lancet. Digital health*, 2(12), e650–e657. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30246-6](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30246-6)

Nyström, T., Santos-Pardo, I., Fang, X., Cao, Y., Hedberg, F., & Jendle, J. (2019). Heart rate variability in type 2 diabetic subjects randomized to liraglutide or glimepiride treatment, both in combination with metformin: A randomized, open, parallel-group study. *Endocrinology, diabetes & metabolism*, 2(2), e00058. <https://doi.org/10.1002/edm2.58>

Oliveira, N. L., Ribeiro, F., Alves, A. J., Teixeira, M., Miranda, F., & Oliveira, J. (2013). Heart rate variability in myocardial infarction patients: effects of exercise training. *Revista portuguesa de cardiologia: orgao oficial da Sociedade Portuguesa de Cardiologia = Portuguese journal of cardiology: an official journal of the Portuguese Society of Cardiology*, 32(9), 687–700. <https://doi.org/10.1016/j.repc.2013.02.010>

Perez-Quilis, C., Kingsley, J. D., Malkani, K., Cervellin, G., Lippi, G., & Sanchis-Gomar, F. (2017). Modulation of Heart Rate by Acute or Chronic Aerobic Exercise. Potential Effects on Blood Pressure Control. *Current pharmaceutical design*, 23(31), 4650–4657. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170710151942>

Peters, C. H., Sharpe, E. J., & Proenza, C. (2020). Cardiac Pacemaker Activity and Aging. *Annual review of physiology*, 82, 21–43. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021119-034453>

Picorelli, A. M., Pereira, L. S., Pereira, D. S., Felício, D., & Sherrington, C. (2014). Adherence to exercise programs for older people is influenced by program characteristics and personal factors: a systematic review. *Journal of physiotherapy*, 60(3), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.06.012>

Prasertsri, P., Phoemsapthawee, J., Kuamsub, S., Poolpol, K., & Boonla, O. (2022). Effects of Long-Term Regular Continuous and Intermittent Walking on Oxidative Stress, Metabolic Profile, Heart Rate Variability, and Blood Pressure in Older Adults with Hypertension. *Journal of environmental and public health*, 2022, 5942947. <https://doi.org/10.1155/2022/5942947>

Quer, G., Gouda, P., Galarnyk, M., Topol, E. J., & Steinhubl, S. R. (2020). Inter- and intraindividual variability in daily resting heart rate and its associations with age, sex, sleep, BMI, and time of year: Retrospective, longitudinal cohort study of 92,457 adults. *PloS one*, *15*(2), e0227709. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227709>

Quigley, K. S., & Berntson, G. G. (1996). Autonomic interactions and chronotropic control of the heart: heart period versus heart rate. *Psychophysiology*, *33*(5), 605–611. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02438.x>

Reland, S., Ville, N. S., Wong, S., Gauvrit, H., Kervio, G., & Carré, F. (2003). Exercise heart rate variability of older women in relation to level of physical activity. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *58*(7), 585–591. <https://doi.org/10.1093/gerona/58.7.b585>

Rocha, J., Cunha, F. A., Cordeiro, R., Monteiro, W., Pescatello, L. S., & Farinatti, P. (2020). Acute Effect of a Single Session of Pilates on Blood Pressure and Cardiac Autonomic Control in Middle-Aged Adults with Hypertension. *Journal of strength and conditioning research*, *34*(1), 114–123. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003060>

Rosenberg, A. A., Weiser-Bitoun, I., Billman, G. E., & Yaniv, Y. (2020). Signatures of the autonomic nervous system and the heart's pacemaker cells in canine electrocardiograms and their applications to humans. *Scientific reports*, *10*(1), 9971. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66709-z>

Rudnicka, E., Napierała, P., Podfigurna, A., Męczekalski, B., Smolarczyk, R., & Grymowicz, M. (2020). The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, *139*, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>

Saint-Maurice, P. F., Troiano, R. P., Matthews, C. E., & Kraus, W. E. (2018). Moderate-to-Vigorous Physical Activity and All-Cause Mortality: Do Bouts Matter?. *Journal of the American Heart Association*, *7*(6), e007678. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.007678>

Sandercock, G. R., Hardy-Shepherd, D., Nunan, D., & Brodie, D. (2008). The relationships between self-assessed habitual physical activity and non-invasive measures of cardiac autonomic modulation in young healthy volunteers. *Journal of sports sciences*, *26*(11), 1171–1177. <https://doi.org/10.1080/02640410802004930>

Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C. K., Schmidt, G., & Yamamoto, Y. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*, 17(9), 1341–1353. <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>

Schulz, K. F., Altman, D. G., Moher, D., & CONSORT Group (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, c332. <https://doi.org/10.1136/bmj.c332>

Sessa, F., Anna, V., Messina, G., Cibelli, G., Monda, V., Marsala, G., Ruberto, M., Biondi, A., Cascio, O., Bertozzi, G., Pisanelli, D., Maglietta, F., Messina, A., Mollica, M. P., & Salerno, M. (2018). Heart rate variability as predictive factor for sudden cardiac death. *Aging*, 10(2), 166–177. <https://doi.org/10.18632/aging.101386>

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in public health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>

Silva, P., de Brito, L. C., Cabral, L., Farias-Junior, L. F., Browne, R., Vianna, L. C., & Costa, E. C. (2021). Effects of Isometric Biceps Exercise on Blood Pressure in Adults with Hypertension. *International journal of sports medicine*, 42(11), 985–993. <https://doi.org/10.1055/a-1337-2998>

Soares-Miranda, L., Sattelmair, J., Chaves, P., Duncan, G. E., Siscovick, D. S., Stein, P. K., & Mozaffarian, D. (2014). Physical activity and heart rate variability in older adults: the Cardiovascular Health Study. *Circulation*, 129(21), 2100–2110. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005361>

Swain, D. P., & Franklin, B. A. (2006). Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *The American journal of cardiology*, 97(1), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.07.130>

Taralov, Z. Z., Terziyski, K. V., & Kostianev, S. S. (2015). Heart Rate Variability as a Method for Assessment of the Autonomic Nervous System and the Adaptations to Different Physiological and Pathological Conditions. *Folia medica*, 57(3-4), 173–180. <https://doi.org/10.1515/folmed-2015-0036>

Tarvainen, M. P., Niskanen, J. P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV--heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(1), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>

Teixeira, A. L., Ritti-Dias, R., Antonino, D., Bottaro, M., Millar, P. J., & Vianna, L. C. (2018). Sex Differences in Cardiac Baroreflex Sensitivity after Isometric Handgrip Exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(4), 770–777. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001487>

Tellez, J. O., Dobrzynski, H., Greener, I. D., Graham, G. M., Laing, E., Honjo, H., Hubbard, S. J., Boyett, M. R., & Billeter, R. (2006). Differential expression of ion channel transcripts in atrial muscle and sinoatrial node in rabbit. *Circulation research*, 99(12), 1384–1393. <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000251717.98379.69>

Toni, G., Belvederi Murri, M., Piepoli, M., Zanetidou, S., Cabassi, A., Squatrito, S., Bagnoli, L., Piras, A., Mussi, C., Senaldi, R., Menchetti, M., Zocchi, D., Ermini, G., Ceresini, G., Tripi, F., Rucci, P., Alexopoulos, G. S., Amore, M., & SEEDS study group (2016). Physical Exercise for Late-Life Depression: Effects on Heart Rate Variability. *The American journal of geriatric psychiatry: official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, 24(11), 989–997. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2016.08.005>

Tosaki A. (2020). ArrhythmoGenoPharmacoTherapy. *Frontiers in pharmacology*, 11, 616. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00616>

Väänänen, J., Xusheng, S., Wang, S., Laitinen, T., Pekkarinen, H., & Länsimies, E. (2002). Taichiquan acutely increases heart rate variability. *Clinical physiology and functional imaging*, 22(1), 2–3. <https://doi.org/10.1046/j.1475-097x.2002.00355.x>

Vanderlei, L. C., Pastre, C. M., Hoshi, R. A., Carvalho, T. D., & Godoy, M. F. (2009). Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. *Revista brasileira de cirurgia cardiovascular: orgao oficial da Sociedade Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, 24(2), 205–217. <https://doi.org/10.1590/s0102-76382009000200018>

World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Yaniv, Y., Ahmet, I., Tsutsui, K., Behar, J., Moen, J. M., Okamoto, Y., Guiriba, T. R., Liu, J., Bychkov, R., & Lakatta, E. G. (2016). Deterioration of autonomic neuronal receptor signaling and mechanisms intrinsic to heart pacemaker cells contribute to age-associated alterations in heart rate variability in vivo. *Aging cell*, 15(4), 716–724. <https://doi.org/10.1111/acel.12483>

Yaniv, Y., Lakatta, E. G., & Maltsev, V. A. (2015). From two competing oscillators to one coupled-clock pacemaker cell system. *Frontiers in physiology*, 6, 28. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00028>

Yaniv, Y., Lyashkov, A. E., & Lakatta, E. G. (2013). The fractal-like complexity of heart rate variability beyond neurotransmitters and autonomic receptors: signaling intrinsic to sinoatrial node pacemaker cells. *Cardiovascular pharmacology: open access*, 2, 111. <https://doi.org/10.4172/2329-6607.1000111>

Yaniv, Y., Lyashkov, A. E., & Lakatta, E. G. (2014). Impaired signaling intrinsic to sinoatrial node pacemaker cells affects heart rate variability during cardiac disease. *Journal of clinical trials*, 4(1), 152. <https://doi.org/10.4172/2167-0870.1000152>

12. ANEXOS

12.1. Descripción de proceso de consentimiento informado

En primera instancia, el investigador responsable se reunió con una de las autoridades del área de adulto mayor de la municipalidad de Tiltil. Posteriormente, se realizó una reunión informativa con autoridades de la “Unión Comunal del Adulto Mayor” (UCAM), la cual está compuesta por los presidentes de los distintos clubes de adultos mayores de la localidad. El propósito de la reunión fue dar a conocer las características del proyecto de investigación (objetivo, procedimientos, beneficios y posibles riesgos), con el fin de contar con el apoyo y promoción del estudio. Finalmente, se desarrolló una instancia de preguntas para aclarar cualquier duda por parte de los adultos mayores sobre la investigación.

12.2. Consentimiento Informado

TÍTULO DEL PROYECTO: “Valoración de los efectos agudos en la variabilidad del ritmo cardíaco post ejercicio físico en adultos mayores”.

Nombre del investigador principal: Álvaro Andrés Villalobos Gorigoitia

Institución: Escuela de Posgrado, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

Invitación

Buen día, soy investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y le invito a participar del proyecto de investigación: “Valoración de los efectos agudos en la variabilidad del ritmo cardíaco post ejercicio físico en adultos mayores”, que consiste en evaluar su comportamiento cardíaco en reposo y después de realizar una sesión de 10 minutos de ejercicio físico.

Además, se registrarán antecedentes demográficos (edad y sexo), médicos (enfermedades existentes, consumo de medicamentos y hábitos de vida) y de composición corporal (talla y peso).

La razón por la cual le invitamos a participar es para indagar aún más sobre el comportamiento cardíaco en los adultos mayores, el cual es afectado de manera importante producto del

envejecimiento y estos datos se utilizarán para establecer estrategias de prevención y mantenimiento de la función del corazón.

Procedimientos

El procedimiento requiere de una serie de acciones que se realizarán en el siguiente orden:

1. Recopilación de antecedentes personales (nombre, edad, género), médicos y hábitos de vida.
2. Medición de parámetros antropométricos (talla y peso corporal).
3. Valoración del nivel de actividad física a través del Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ).
4. Evaluación de la variabilidad del ritmo cardíaco en reposo y post ejercicio mediante una banda cardíaca para pecho, la cual representa un sistema de medición no invasiva para registrar el comportamiento cardíaco.

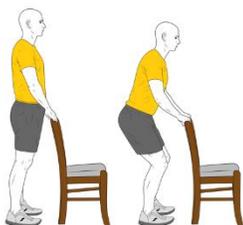
La obtención de los datos mencionados anteriormente se realizará en un centro de entrenamiento para adultos mayores en la localidad de Huertos Familiares de Tilttil de la Villa San José y estará a cargo del Profesor Álvaro Villalobos Gorigoitia.

Deberá asistir con ropa cómoda y estar acostado en reposo absoluto por 10 minutos, luego realizar una sesión de ejercicio físico de 10 minutos y finalmente, volver a estar acostado durante 10 minutos.

Estructura de la sesión de ejercicio físico: Usted deberá realizar una sesión de 10 minutos que está compuesta por 4 ejercicios para distintas zonas del cuerpo (piernas, brazos y tronco), en los cuales deberá adoptar una postura que será explicada y demostrada en detalle por el investigador responsable para evitar errores técnicos y/o posturas que no corresponden al tipo de ejercicio.

Cada ejercicio será realizado 3 veces (3 series), en donde la postura que corresponde al ejercicio debe ser mantenida por 30 segundos y habrá una pausa o descanso de 30 segundos entre cada serie y al momento de cambiar de ejercicio.

Los 4 ejercicios o posturas que debe realizar son:



1. Sentadilla con una silla



2. Empuje de cadera en colchoneta



3. Flexión de brazos en una pared

4. Extensión de columna

Esta serie de acciones solo la tendrá que realizar dos veces en días distintos y se estima una duración de 40 minutos para cada procedimiento (evaluación más sesión de ejercicio físico).

Riesgos

Las posibles complicaciones que podría padecer durante el procedimiento es alguna molestia muscular o articular asociada al programa de ejercicio físico. En caso de ser así, solamente debe notificar al investigador a cargo para solucionar este problema. Para minimizar las posibles molestias, evite realizar actividad física intensa y procure dormir cómodamente el día anterior a la fecha de evaluación y también, hidratarse y comer lo más saludable posible. Si presentara malestares musculares y/o articulares asociadas al programa de ejercicio físico después de realizada la evaluación, procure descansar lo suficiente y no realizar esfuerzos físicos intensos hasta que las molestias desaparezcan. En caso de no ocurrir, notificar al investigador responsable

del proyecto (Investigador Álvaro Villalobos) por las vías de contacto presentes en este documento.

Beneficios

La sesión de ejercicio físico podría aumentar su ritmo cardíaco dentro de un rango seguro y que al realizarlo de forma permanente, puede mejorar la función de su corazón.

Voluntariedad

La decisión de participar en esta investigación es voluntaria y no existirá ninguna forma de persuasión para que participe en ella.

No tiene costos asociados para usted y tampoco habrá alguna institución que se beneficie económicamente de la investigación.

Toda la información derivada de su participación en este estudio será conservada en forma de estricta confidencialidad, lo que incluye solo el acceso de los investigadores o agencias supervisoras de la investigación.

Cualquier publicación o comunicación científica de los resultados de la investigación será completamente anónima.

Todo el procedimiento no tendrá ningún efecto negativo para usted ni su familia y es libre de decidir en todo momento abandonar o continuar en la investigación.

Derechos del participante

Usted recibirá una copia íntegra y escrita de este documento firmado. Si usted requiere cualquier otra información sobre su participación en este estudio o bien conocer los resultados puede comunicarse con:

Investigador: Álvaro Villalobos Gorigoitia

Teléfono celular: 9 4845 3752

Autoridad de la Institución: Pablo Vargas Pérez

Teléfono: (02) 2 810 5800

Sus resultados serán entregados en un documento impreso (hoja tamaño carta), en donde se graficarán de manera simple y clara los parámetros evaluados con su interpretación básica sobre el funcionamiento del corazón.

Otros derechos del participante

En caso de duda sobre sus derechos debe comunicarse con el Presidente del “Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos”, **Dr. Manuel Oyarzún G., Teléfono:** +56 22 978 9536, **Email:** ceish.med@uchile.cl, cuya oficina se encuentra ubicada a un costado de la Biblioteca Central de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile en Av. Independencia 1027, Comuna de Independencia.

Conclusión

Después de haber recibido y comprendido la información de este documento y de haber podido aclarar todas mis dudas, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto: “Valoración de los efectos agudos en la variabilidad del ritmo cardíaco post ejercicio físico en adultos mayores”.

Nombre del Participante:

Firma:

Fecha:

RUT:

Nombre del director del establecimiento donde se realizará el proyecto:

Firma:

Fecha:

RUT:

Nombre del investigador:

Firma:

Fecha:

RUT:

12.3. Descripción de los parámetros de la VRC contemplados en la investigación y su interpretación fisiológica (Soares et al., 2014)

| Parámetro VRC (Dominio tiempo) | Definición | Interpretación fisiológica |
|---|--|--|
| FCM (lpm) | Frecuencia cardíaca media | En reposo, valores más bajos se consideran saludables |
| SDNN (ms) | Desviación estándar de todos los intervalos RR (de todo el registro) Índice global de VRC | Valores más altos se consideran más saludables Valores más bajos se asocian con mayor riesgo de ECV y mortalidad |
| RMSSD (ms) | Raíz cuadrada del promedio de las diferencias entre intervalos RR adyacentes | Refleja las variaciones que se producen entre los intervalos RR. Valores más altos generalmente reflejan una mayor influencia parasimpática (vagal) |
| pNN50 (%) | Porcentaje de intervalos RR adyacentes que difieren en más de 50 milisegundos | Representa la actividad del SNP |
| Parámetro VRC (Dominio frecuencia) | | |
| LF (ms²) | Banda de baja frecuencia (0,04 – 0,15 Hz) | Refleja la estimulación o tono simpático, con modulación del parasimpático y en menor medida por el sistema renina-angiotensina, vasopresina y óxido nítrico |
| HF (ms²) | Banda de alta frecuencia (0,15 – 0,4 Hz) | Refleja la modulación del sistema parasimpático (tono vagal) sobre la VRC |
| LF/HF | Relación entre la potencia de las bandas de baja y alta frecuencia | Estimar la relación entre la actividad del SNS y del SNP |

12.4. Documento para entregar al participante del estudio

CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA (IPAQ) - FORMATO AUTO ADMINISTRADO DE LOS ÚLTIMOS 7 DÍAS

Estamos interesados en saber acerca de la clase de actividad física que la gente hace como parte de su vida diaria. Las preguntas se referirán acerca del tiempo que usted utilizó siendo físicamente activo(a) en los últimos 7 días. Por favor responda cada pregunta aún si usted no se considera una persona activa. Por favor piense en aquellas actividades que usted hace como parte del trabajo, en el jardín y en la casa, para ir de un sitio a otro, y en su tiempo libre de descanso, ejercicio o deporte. Piense acerca de todas aquellas actividades vigorosas que usted realizó en los últimos 7 días. Actividades vigorosas son las que requieren un esfuerzo físico fuerte y le hacen respirar mucho más fuerte que lo normal. Piense solamente en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

1. Durante los últimos 7 días, ¿Cuántos días realizó usted actividades físicas vigorosas como levantar objetos pesados, excavar, aeróbicos, o pedalear rápido en bicicleta?

_____ días por semana

Ninguna actividad física vigorosa, pase a la pregunta 3

2. ¿Cuánto tiempo en total usualmente le tomó realizar actividades físicas vigorosas en uno de esos días que las realizó?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Piense acerca de todas aquellas actividades moderadas que usted realizó en los últimos 7 días. Actividades moderadas son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado y le hace respirar algo más fuerte que lo normal. Piense solamente en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

3. Durante los últimos 7 días, ¿Cuántos días hizo usted actividades físicas moderadas tal como cargar objetos livianos, pedalear en bicicleta a paso regular, o jugar dobles de tenis? No incluya caminatas.

_____ días por semana

Ninguna actividad física moderada, pase a la pregunta 5

4. Usualmente, ¿Cuánto tiempo dedica usted en uno de esos días haciendo actividades físicas moderadas?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Piense acerca del tiempo que usted dedicó a caminar en los últimos 7 días. Esto incluye trabajo en la casa, caminatas para ir de un sitio a otro, o cualquier otra caminata que usted hizo únicamente por recreación, deporte, ejercicio, o placer.

5. Durante los últimos 7 días, ¿Cuántos días caminó usted por al menos 10 minutos continuos?

_____ días por semana

No caminó, pase a la pregunta 7

6. Usualmente, ¿Cuánto tiempo gastó usted en uno de esos días caminando?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

La última pregunta se refiere al tiempo que usted permaneció sentado(a) en la semana en los últimos 7 días. Incluya el tiempo sentado(a) en el trabajo, la casa, estudiando y en su tiempo libre. Esto puede incluir tiempo sentado(a) en un escritorio, visitando amigos(as), leyendo o permanecer sentado(a) o acostado(a) mirando televisión.

7. Durante los últimos 7 días, ¿Cuánto tiempo permaneció sentado(a) en un día en la semana?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Este es el final del cuestionario, gracias por su participación.

12.5. Carta de aceptación de la autoridad del establecimiento donde se realizó la investigación.



WWW.TILTIL.CL

UNIDAD DEL ADULTO MAYOR

I. MUNICIPALIDAD DE TIL TIL

La Unidad del Adulto Mayor de la Ilustre Municipalidad de Til Til, autoriza al Sr. Álvaro Villalobos Gorigoitía, como el investigador a cargo del proyecto de investigación titulado "Valoración de los efectos agudos sobre la variabilidad del ritmo cardíaco post ejercicio físico en adultos mayores", a partir de la fecha pertinente de acuerdo con su programa de estudios y que estará en estricta alianza con el departamento de adulto mayor, más el apoyo de la I. Municipalidad de Til Til.

Dentro de las funciones específicas que realizará el Sr. Álvaro Villalobos Gorigoitía, se destacan las siguientes:

- Investigador responsable del estudio
- Recopilación y análisis de datos
- Realización del estudio

Se emite este certificado para la (s) entidad (es) pertinente (s)

Sin otro particular, se despide atentamente:



Pablo Vargas Pérez

Encargado Unidad del Adulto Mayor

I. Municipalidad de Til Til

12.6. Acta de aprobación del CEISH



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA
COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES HUMANOS

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

(Documento en versión 3.1 corregida 17.11.2020)

Con fecha 09 de Noviembre de 2021, el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile, integrado por los siguientes miembros:

Dr. Manuel Oyarzún G., Médico Neumólogo, Profesor Titular, Presidente
Dra. Lucia Cifuentes O., Médico Genetista, Profesor Titular, Vicepresidente Subrogante
Sra. Claudia Marshall F., Educadora, Representante de la comunidad
Dra. Grisel Orellana V., Médico Neuropsiquiatra, Profesor Asociado
Prof. Julieta González B., Bióloga Celular, Profesor Asociado
Dra. María Angela Delucchi B., Médico Pediatra Nefrólogo, Profesor Titular
Dr. Miguel O’Ryan G., Médico Infectólogo, Profesor Titular
Dra. María Luz Bascañán R., Psicóloga PhD, Profesor Asociado
Sra. Karima Yarmuch G., Abogada, Dirección Jurídica, Facultad de Medicina
Srta. Javiera Cobo R., Nutricionista, Secretaria Ejecutiva
Prof. Verónica Aliaga C., Kinesióloga, Magíster en Bioética, Profesor Asociado
Dr. Dante Cáceres L., Médico Veterinario, Doctor en Salud Pública, Profesor Asociado

Ha revisado el Proyecto de Investigación titulado: **"VALORACIÓN DE LOS EFECTOS AGUDOS SOBRE LA VARIABILIDAD DEL RITMO CARDÍACO POST EJERCICIO FÍSICO EN ADULTOS MAYORES"**. Cuyo investigador responsable es el Prof. Álvaro Villalobos Gorioitía, quien desempeña funciones en el Programa de Magíster en Fisiología Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

El Comité revisó los siguientes documentos del estudio:

- Proyecto de Tesis de Magister en Fisiología
- Curriculum Vitae de los investigadores
- Consentimiento Informado
- Carta Compromiso del investigador para comunicar los resultados del estudio una vez finalizado este

El proyecto y los documentos señalados en el párrafo precedente han sido analizados a la luz de los postulados de la Declaración de Helsinki, de las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Biomédica en Seres Humanos CIOMS 2016, y de las Guías de Buena Práctica Clínica de ICH 1996.

Sobre la base de esta información el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile se ha pronunciado de la siguiente manera sobre los aspectos del proyecto que a continuación se señalan:

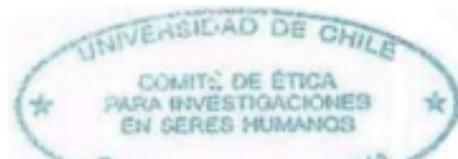
- a) **Carácter de la población a estudiar:** La población a estudiar es no cautiva. La investigación podría considerarse terapéutica, dependiendo de los resultados que se obtengan.
- b) **Utilidad del proyecto:** Es un proyecto cuasi experimental. Corresponde a una primera etapa para abordar una problemática de importancia en la salud cardiovascular en la población adulta mayor. Tiene las ventajas de ser un proyecto de bajo costo, con financiamiento asegurado y de bajo riesgo.
- c) **Riesgos y beneficios:** Los riesgos son mínimos. El protocolo de ejercicios cumple con las recomendaciones establecidas por el Colegio Americano de Medicina Deportiva para adultos mayores.

Los posibles beneficios residen en la posible reducción del sedentarismo y potencialmente en prevenir o retrasar el deterioro de la función cardíaca con la edad.
- d) **Protección de los participantes (asegurada por el Consentimiento Informado):** Adecuado Consentimiento Informado.
- e) **Notificación oportuna de reacciones adversas:** Aunque son poco probables, se contempla su notificación oportuna.
- f) **Compromiso del investigador responsable en la notificación de los resultados del estudio al finalizar el proyecto:** Si.
- g) **Requiere seguimiento o visita en terreno:** Si__ No X
Nº de visitas: _____

Por lo tanto, el comité estima que el estudio propuesto está bien justificado y que no significa para los sujetos involucrados riesgos físicos, psíquicos o sociales mayores que mínimos.

Este comité también analizó y aprobó los correspondientes documentos de Consentimiento Informado en su versión modificada recibida el 28 de octubre de 2021, que se adjunta firmado, fechado y timbrado por este CEISH.

09|NOV|2021



Sin perjuicio de lo anterior, según lo establecido en el artículo 10 bis del D.S N° 114 de 2011, del Ministerio de Salud que aprueba el reglamento de la ley N° 20.120; es preciso recordar que toda investigación científica en seres humanos deberá contar con la autorización expresa del o de los directores de los establecimientos dentro de los cuales se efectúe, la que deberá ser evacuada dentro del plazo de 20 días hábiles contados desde la evaluación conforme del CEISH, siendo de responsabilidad del investigador enviar a este Comité una copia de la misma dentro del plazo señalado.

En virtud de las consideraciones anteriores el Comité otorga la aprobación ética para la realización del estudio propuesto, dentro de las especificaciones del protocolo.

Se extiende este documento por el periodo de **02 años** a contar desde la fecha de aprobación prorrogable según informe de avance y seguimiento bioético.

Lugar de realización del estudio:

- Unión Comunal del Adulto Mayor“(UCAM) Municipalidad de Tiltil.

JAVIERA DE LOS
ANDES COBO RIVEROS

Nta. Javiera Cobo Riveros
Secretaria Ejecutiva CEISH

Santiago, 09 de Noviembre 2021

Proyecto: N° 104-2021

Archivo acta: N° 100

09|NOV|2021

