

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Facultad de Ciencias de la Educación



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Trabajo Fin de Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Convocatoria Mayo 2021

**Efectos del ejercicio físico agudo en parámetros del sistema
inmune en adultos sedentarios: Una revisión bibliográfica**

**Effects of acute physical exercise on immune system
parameters in sedentary adults: A bibliographic review**

Autor: Angel Adrián Antequera Anzalone

Tutora: María del Mar Requena Mullor

Resumen

Introducción: El sistema inmune se ve alterado por el ejercicio físico. Mientras que los efectos crónicos del ejercicio físico en la salud si se conocen, la respuesta aguda de una sola sesión es un tema que genera controversia. Por otro lado, muchos estudios se han centrado en poblaciones altamente entrenadas cuya carga de trabajo es mucho mayor a la media.

Objetivo: Analizar la información sobre los efectos agudos del ejercicio físico en el sistema inmunológico de adultos sanos sedentarios.

Método: Se ha realizado una búsqueda en la literatura a través de Dialnet, Pubmed, Scielo y Web of Science. Se seleccionaron ensayos controlados aleatorizados o ensayos cruzados aleatorizados. Se analizaron los parámetros inmunológicos antes e inmediatamente después de una sesión de ejercicio físico en adultos sanos sedentarios entre 18 y 51 años. No hubo restricciones de idioma o año.

Resultados: Se recuperaron un total de 15 artículos tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. Se analizaron 11 ensayos cruzados y 4 ensayos controlados. Se observó que el ejercicio físico fomenta cambios en algunos marcadores inmunológicos como la interleucina-6 o subtipos de leucocitos mientras que otros parámetros como el factor de necrosis tumoral alfa o la proteína C-reactiva mostraron resultados contradictorios.

Conclusiones: El ejercicio físico agudo provoca cambios en algunos parámetros que afectan al sistema inmune. Los cambios producidos vuelven a la normalidad a las pocas horas o al día siguiente. Otros factores requieren de mayor investigación ya que se obtuvieron poco resultados y contradictorios. Se han visto resultados similares tanto en ejercicio cardiorrespiratorio como de fuerza. Los parámetros se ven influenciados más por la intensidad que por la duración del ejercicio.

Palabras clave: Sistema inmune, ejercicio, entrenamiento, leucocito, sedentario.

Abstract

Introduction: The immune system is altered by physical exercise. While the chronic health effects of physical exercise are known, the acute response from a single session is controversial. On the other hand, many studies have focused on highly trained populations whose workload is much higher than average.

Objective: To analyze the information on the acute effects of physical exercise on the immune system of healthy sedentary adults.

Method: A literature search has been carried out through Dialnet, Pubmed, Scielo and Web of Science. Randomized controlled trials or randomized crossover trials were selected. Immunological parameters were analyzed before and immediately after a physical exercise session in healthy sedentary adults between 18 and 51 years of age. There were no language or year restrictions.

Results: A total of 15 articles were recovered after applying the inclusion and exclusion criteria. 11 crossover trials and 4 controlled trials were analyzed. Physical exercise may promote changes in some immunological markers such as interleukin -6 or leukocyte subtypes, while other exercise parameters such as tumor factor alpha or C-reactive protein have contradictory results.

Conclusions: Acute physical exercise causes changes in some parameters that control the immune system. The changes produced return to normal within a few hours or the next day. Other factors require further investigation as little and contradictory results were obtained. Similar results have been seen in both cardiorespiratory and strength exercise. The parameters are influenced more by the intensity than by the duration of the exercise.

Keywords: Immune system, exercise, training, leukocyte, sedentary.

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Objetivos	7
3. Justificación	7
4. Metodología	8
5. Resultados	11
6. Discusión	20
7. Conclusiones	27
8. Referencias	28
9. Anexos	33

1. Introducción

Podemos definir la actividad física como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que implique gasto energético y el ejercicio físico como un tipo de actividad física planificada, estructurada y que se repite en el tiempo cuyo objetivo es la mejora de uno o más componentes de la condición física (Garita Azofeifa, 2006; World Health Organization [WHO], 2010). Hay evidencia abrumadora de que el ejercicio físico produce mejoras en la salud en general reduciendo el riesgo de padecer enfermedades no transmisibles como pueden ser la diabetes, algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares, mejora el estado muscular y cardiorrespiratorio, la salud ósea y funcional y actúa en la respuesta inmune, reduciendo el riesgo de desarrollar procesos inflamatorios y estimulando la actividad inmune celular. (Gleeson et al., 2013; Lee et al., 2012; Macera, et al., 2003; Warburton, et al., 2006; WHO, 2010).

El sistema inmunológico es la acción conjunta de células y moléculas que se encargan de la defensa del cuerpo contra microorganismos patógenos como pueden ser bacterias, protozoos, virus y hongos (Gleeson et al., 2013). Este sistema lo podemos dividir en 2 ramas que, a pesar de ser distintas, actúan conjuntamente: La inmunidad innata (natural o no específica) compuesta por elementos como células asesinas naturales (CD16 +, CD56 +) y fagocitos (neutrófilos, eosinófilos, basófilos, monocitos, macrófagos) y la inmunidad adquirida (adaptativa o específica) formada por Células T (CD3 +, CD4 +, CD8 +), Células B (CD19 +, CD20 +, CD22 +) y sus productos, como los anticuerpos. La comunicación entre ambos se produce mediante citocinas y otros mensajeros. (Gleeson et al., 2013; Raphael, et al., 2015). El ejercicio físico produce alteraciones en el sistema inmunológico (Hoffman-Goetz, & Pedersen., 1994; Pedersen & Hoffman-Goetz, 2000). Esta inmunomodulación inducida por el ejercicio parece depender de factores como la frecuencia, la intensidad, el volumen y el tipo de esfuerzo aplicado e incluso, las características individuales de los sujetos, como puede ser el estado de entrenamiento. (Simpson, et al., 2015).

Mientras que los beneficios para la salud a largo plazo que provoca la actividad física regular son ampliamente aceptados, el efecto de una sola sesión de ejercicio sobre la función inmunológica sigue siendo un tema muy controvertido (Campbell & Turner, 2018; Gonçalves et al., 2020; Simpson et al., 2020). Gran parte de la investigación de

efectos agudos hasta la fecha se ha centrado principalmente en poblaciones entrenadas o atletas de elite, cuyos episodios de actividad no son convencionales para la gran parte de la población, pruebas en el estado posprandial o la adición de co-intervenciones como la suplementación de carbohidratos o aminoácidos. Las revisiones que han tratado anteriormente este tema no se han centrado en poblaciones sedentarias, no han investigado todos los marcadores inmunológicos que se ven afectados por el ejercicio, no se han centrado en los efectos agudos de una sesión o solo se han basado en un tipo de ejercicio (Brown, et al., 2015; Gonçalves et al., 2020; Peake, et al., 2017). Esto ayudaría a especificar mejor los factores de ejercicio necesarios para activar los mecanismos antiinflamatorios y una óptima respuesta inmune en el organismo, ya que por otro lado el ejercicio en exceso puede ser perjudicial en otros aspectos (Lim, 2020).

La pandemia mundial como consecuencia de la enfermedad por coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) ha provocado el cierre de gimnasios, piscinas y centros deportivos, junto con medidas de confinamiento y restricciones de actividades al aire libre lo que ha llevado a que la mayor parte de la población este limitada para realizar ejercicio físico y por tanto caiga más aun en el sedentarismo.(Dunton, et al., 2020; Tison et al., 2020). La inactividad física y el comportamiento sedentario es un gran problema para la salud ya que constituye el cuarto factor de riesgo principal para la mortalidad en el mundo y provocando aproximadamente 3,2 millones de muertes cada año ya que influye en muchas patologías crónicas como hemos señalado anteriormente (WHO, 2009; WHO, 2020).

En 2016, un 27,5% de los adultos se consideran físicamente inactivos (Guthold, et al., 2018). En la actualidad un porcentaje mayor probablemente sea considerado como no entrenado o físicamente inactivo (Dunton, et al., 2020; Tison et al., 2020). Los hallazgos de esta revisión pueden ayudar a informar las recomendaciones futuras de actividad física.

2. Objetivos

Objetivo general:

Analizar la información sobre los efectos agudos del ejercicio físico en el sistema inmunológico de adultos sanos sedentarios.

Objetivos específicos:

- Examinar que tipo de ejercicio (cardiorrespiratorio o de fuerza) produce mayores y menores cambios en el sistema inmune.
- Estudiar si hay diferencias significativas en la respuesta inmune al analizar distintas dosis de tiempo e intensidad.
- Comprobar si hay diferencias debido al sexo de los participantes.

3. Justificación

He decidido realizar este trabajo ya que considero que en la situación actual de pandemia mundial es fundamental tener una buena salud inmunológica y para ello debemos conocer bien que aspectos debemos tener en cuenta a la hora de realizar ejercicio físico. Además, considero vital incentivar a la población sedentaria para que empiece a moverse de una forma segura y pueda mejorar su salud.

4. Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica, realizada entre marzo y abril de 2021 sobre los efectos agudos del ejercicio físico en el sistema inmunológico de adultos sanos sedentarios. Las bases utilizadas para la búsqueda fueron las siguientes: Pubmed, Web of Science, Scielo y Dialnet. Los términos utilizados para ello fueron: "Exercise", "physical activity", "training"; "immune system", "immune function", "immune markers", "immune response", "immunology", "immune competence", "lymphocyte", "IL-6", "natural killer cell", "T cell", "cytokine", "interleukin*" "leukocyte", "adhesion molecule", "Immunoglobulin", "LgA" y "Supplementation". La búsqueda inicial se limitó a ensayos clínicos. No hubo restricciones de idioma o año. La última búsqueda se realizó el 24 de abril de 2021.

Se incluyeron los estudios que cumplieron con los siguientes criterios:

- Adultos sanos clasificados como sedentarios, inactivos o con un $VO_{2\text{MAX}}$ no superior al percentil 55% según su edad y sexo (Anexo 1).
- Una edad media comprendida entre 18 y 51 años.
- Intervenciones que realizasen una intervención aguda de ejercicio aeróbico, anaeróbico, o de fuerza.
- Que se analizase algún marcador del sistema inmunológico antes e inmediatamente después del ejercicio mínimo.
- Ensayos controlados aleatorizados o ensayos cruzados aleatorizados.

Por otro lado, se excluyeron aquellos estudios:

- Cuyos participantes tuviesen algún trastorno o enfermedad que afectase al sistema inmunológico o parámetros inflamatorios.
- Cuyos participantes tomaran alguna medicación que afectase al estudio.
- Con mujeres embarazadas.
- Que incluyesen alguna cointervención como puede ser la suplementación de algún fármaco o nutriente.
- En los que los participantes sean clasificados como entrenados, recreativamente activos o deportistas de alto nivel.
- Que no respetasen un ayuno mayor o igual a 2 horas antes de la intervención.

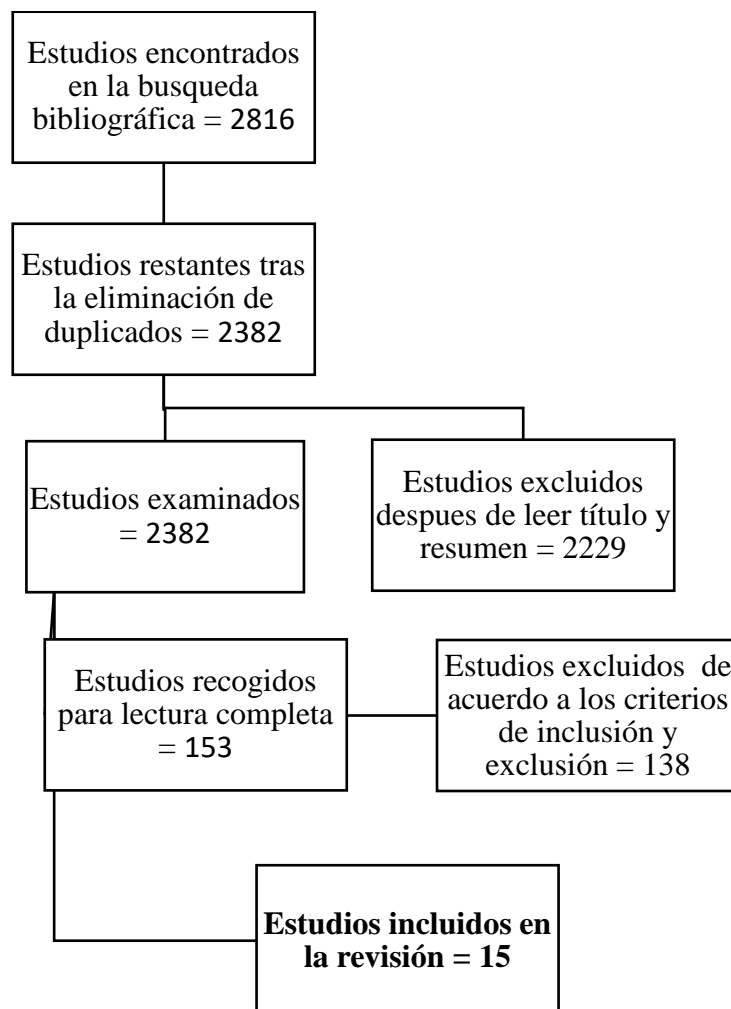
Tabla 1*Estrategia de búsqueda utilizada para cada base de datos*

Base de datos	Estrategia utilizada	Estudios obtenidos
Pubmed	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("immune system" OR "immune function" OR "immune markers" OR "immune response" OR "immunology" OR "immune competence" OR "lymphocyte*" OR "IL-6") AND ("natural killer cell" OR "t cell" OR "cytokine*" OR "interleukin*" OR "leukocyte*" OR "adhesion molecule" OR "immunoglobulin" OR "LGA")	1260
Web of Science	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("immune system" OR "immune function" OR "immune markers" OR "immune response" OR "immunology" OR "immune competency" OR "lymphocyte*" OR "IL-6") AND ("natural killer cell" OR "t cell" OR "cytokine*" OR "interleukin*" OR "leukocyte*" OR "adhesion molecule" OR "immunoglobulin" OR "LGA") AND NOT "Supplementation"	1126
Scielo	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("immune system" OR "immune function" OR "immune markers" OR "immune response" OR "immunology" OR "immune competency" OR "lymphocyte*" OR "IL-6")	25
	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("natural killer cell" OR "t cell" OR "cytokine*" OR "interleukin*" OR "leukocyte*" OR "adhesion molecule" OR "immunoglobulin" OR "LGA")	
Dialnet	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("immune system" OR "immune function" OR "immune markers" OR "immune response" OR "immunology" OR "immune competency" OR "lymphocyte*" OR "IL-6")	405
	("Exercise" OR "physical activity" OR "training") AND ("natural killer cell" OR "t cell" OR "cytokine*" OR "interleukin*" OR "leukocyte*" OR "adhesion molecule" OR "immunoglobulin" OR "LGA")	
Total		2816

Tras la búsqueda inicial se obtuvieron un total de 2816 estudios. A continuación, se procedió a eliminar los duplicados quedando un total de 2382 artículos. Acto seguido se excluyeron artículos tras leer su título o resumen restando 153 artículos para su análisis completo. Por último, tras su lectura completa, 16 estudios cumplieron los criterios de inclusión y fueron añadidos a la revisión. En la Figura 1 se plasma este proceso.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de búsqueda bibliográfica



5. Resultados

Se encontraron un total de 153 artículos en las diferentes bases de datos y que, tras la lectura y revisión, se seleccionaron finalmente 15 estudios una vez aplicados criterios de inclusión y exclusión. Las principales características de estos estudios se hallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Características de los estudios analizados

Autores y año	Tipo de estudio	Caract. sujetos	Detalles de la intervención	Variables analizadas	Resultados
Brenner et al. (1999)	ECRA	8 sujetos Hombres 20-40 años Grupos: Ejercicio Ejercicio Ejercicio Control	5 min ciclismo 90% VO ₂ max. Entrenamiento en circuito (flexión de bíceps, ext. de rodilla, curl de isquiotibiales, press de banca y press de piernas) 3x10 reps 60- 70% 1RM. 2 horas cicloergómetro 60-75% VO ₂ max. Medidas tomadas antes e inmediatamente, 3h, 24h y 72h después del ejercicio.	Células NK IL-6 TNF- α	Las células NK aumentaron y volvieron a los parámetros basales dentro de las 3h posteriores. IL-6 aumentaron después del ejercicio siendo solo significativo en el ejercicio prolongado alcanzando su pico a las 3h TNF- α aumento solo en el ejercicio de larga duración alcanzando su pico a las 72h.
Harnish & Sabo (2016)	ECRA	15 sujetos 13 hombres y 2 mujeres 23,8 (\pm 3,5) años Grupos: Ejercicio Ejercicio	Tabata (TAB), sprints de 10 \times 20 s / 10-s de descanso y Wingate (WIN), sprints de 5 \times 30 s con descanso de 270 s Se tomaron muestras de sangre en estado basal, inmediatamente después, 1 h y 24 horas después de la sesión.	IL-6 TNF- α	IL-6 aumento en ambos grupos y permaneció una hora después elevado. TNF- α también aumentó inmediatamente tanto TAB como WIN. Todas las citocinas volvieron a los niveles iniciales 24h después del ejercicio.

Jamurtas et al. (2018)	ECRA	12 sujetos Hombres 22,4 ± 0,5 años Grupos: Ejercicio Ejercicio	30 min en un cicloergómetro al 70% de su VO ₂ máx HIIT: cuatro sprints de 30 segundos en un cicloergómetro intercalados con 4 min de recuperación Se extrajeron muestras antes, inmediatamente después del ejercicio, a las 24, 48 y 72 horas después del ejercicio.	Leucocitos Monocitos Linfocitos Granulocitos	El recuento de leucocitos aumentó después del ejercicio siendo mayor en el HIIT al igual que el porcentaje de linfocitos. El porcentaje de monocitos no varió en ningún ejercicio. El porcentaje de granulocitos disminuyó en HIIT. Todos recuperaron los valores basales tras 24h.
Jilma et al. (1997)	ECA	12 sujetos Hombres 21-35 años Grupos: Ejercicio Ejercicio Control	Prueba en ergómetro comenzando a 25w y aumentando cada 2 min 25w hasta el agotamiento. Ejercicio de resistencia de 60 min al 60% de su intensidad máxima de trabajo. Se extrajeron muestras antes, inmediatamente después y 2 h, 4 h, 6h y 24 h después del ejercicio.	Linfocitos Neutrófilos sICAM - 1 sVCAM-1 y sE-selectina.	Aumentó el % de linfocitos inmediatamente después, siendo mayor en la prueba de la ergometría en comparación con el ejercicio de resistencia. En los neutrófilos el porcentaje que se observó hasta 2 horas después del ejercicio de resistencia fue mayor que el observado después de la ergometría. No hubo cambios significativos en las moléculas de adhesión en ninguno de los grupos a lo largo del tiempo.
Kendall et al. (1990)	ECA	30 sujetos Hombres 20-31 años Grupos: Ejercicio Ejercicio Ejercicio Control	4 protocolos de cicloergómetro: 1.65% VO ₂ Max, 30 min 2.30% VO ₂ Max 60 min 3.75% VO ₂ Max 60 min 4.65% VO ₂ Max 120 min Muestras obtenidas 24h y 3 min antes de la prueba e inmediatamente, 30 min, 2h y 24h después del ejercicio.	Células T (CD3+, CD4+ y CD8+) y células NK	El porcentaje de células cd3+ disminuyó en todos los tipos de ejercicio siendo significativo en los grupos de alta y media forma. Volvieron al estado base a los 30 min en todos los casos. El porcentaje de cd4+ disminuyó en todos los grupos. El porcentaje de Células NK aumento en todos los grupos inmediatamente después, siendo mayor en el grupo de forma baja. Y volviendo a los valores basales a los 30 minutos después.

					El nº total de cd3+ y cd4+ aumento después del ejercicio. Las células cd8+ aumentaron solo a intensidades más altas de 65% VO ₂ MAX en los sujetos de baja forma. El nº de células NK aumentó en todos los grupos.
Mendham et al. (2012)	ECRA	10 sujetos Hombres 38,5 años Grupo: Ejercicio Ejercicio	(4 × 10 min, intercalados por 2 min recuperación pasiva) rugby sin contacto. 4 × 10 min, intercalados 2 min de rec pasiva. Cadencia 60- 65 rpm (80-85% de FCmáx). Se extrajo sangre venosa antes, después, 30, 60 y 240 min después del ejercicio.	IL-6 TNF- α PCR	IL-6 aumentó inmediatamente después del ejercicio, PCR, TNF- α no mostraron cambios significativos después del ejercicio entre o dentro de ambos protocolos.
Mendham et al. (2011)	ECRA	12 sujetos Hombres 46,2 ± 1,1 años Grupos: Ejercicio Ejercicio Ejercicio Ejercicio	3x10 60 u 80% 1 RM con 90 segundos de descanso entre series durante 40 minutos de los siguientes ejercicios: Press de pecho, y hombros, flexión de brazos, press de piernas, flexión de piernas, extensión de piernas y estocada estática. 40 minutos cicloergómetro al 30% o 50% de la carga aeróbica máxima. Muestras de sangre antes e inmediatamente, 3h y 24h después del ejercicio.	IL.6 PCR Leucocitos (Monocitos neutrófilos y linfocitos)	El aumento agudo de IL-6 fue significativamente mayor en ambos protocolos de intensidad moderada-vigorosa que en los protocolos de baja intensidad. No hubo diferencias significativas en la respuesta de PCR antes de las 3 horas posteriores al ejercicio (antes y después y después de las 3 horas posteriores) salvo a las 24h en el protocolo de resistencia moderada-vigorosa. El recuento total de leucocitos alcanzó su punto máximo en intensidades moderadas vigorosas a las 3h al igual que el número de neutrófilos. En intensidades moderadas vigorosas los linfocitos aumentaron inmediatamente después del ejercicio.
Mendham et al. (2015)	ECRA	9 sujetos hombres	(4 × 10 min, intercalados por 2 min recuperación pasiva) rugby sin contacto (80-85% FC max).	IL-6 PCR TNF- α	La respuesta aguda de IL-6 muestra un aumento significativo inmediatamente después del ejercicio en ambas condiciones. A los 240

		48,8 ± 1,7 años	4 × 10 min, intercalados 2 min de rec pasiva. Cadencia entre 60 y 65 rpm (80 a 85% de FC máx).		minutos hubo diferencias entre grupos siendo el grupo de rugby más elevado. TNF-α y la proteína -reactiva no mostraron cambios a lo largo del tiempo ni entre los grupos.
Mohebbi et al. (2015)	ECRA	9 sujetos Hombres 23,1 ± 1,1 años	Pedalear en un cicloergómetro a una intensidad de 65% ± 7 vo2 Max durante 102 ± 12 min, o a una intensidad correspondiente a 44 ± 6% vo2 Max) durante 144 ± 18 min.	IL-6	Las concentraciones plasmáticas de IL-6 fueron más altas después de ambas pruebas de ejercicio que en estado basal y se mantuvo alta 45 minutos después. No se observaron diferencias significativas entre las pruebas de ejercicio.
Peake et al. (2006)	ECRA	10 sujetos hombres 22.9 ± 4.7 años	Contracciones submáximas: 10 x 60 reps de los flexores del codo de un brazo al 10% de la fuerza isométrica máxima. Contracciones máximas: 10 x 3 contracciones de alargamiento del brazo contralateral, en las que los sujetos resistieran al máximo el movimiento de alargamiento del dinamómetro. Las muestras de sangre se obtuvieron antes, inmediatamente después, 1 h, 3 h, 1 d, 2 d, 3 d y 4 d después del ejercicio.	Leucocitos (Neutrófilos, monocitos y linfocitos)	El número total de leucocitos y neutrófilos aumento en ambos protocolos sin haber diferencia alcanzando el pico a las 3h. No hubo cambios en el recuento de linfocitos y monocitos. Il-6: aumento más en el protocolo submáximo alcanzando el pico máximo a las 3h. PCR y TNF-α no tuvieron cambios en ambos ensayos.
Philippe et al. (2016)	ECRA	7 sujetos Mujeres 20,7 ± 2,9 años	1 h de ejercicio excéntrico (cuesta abajo - EE) o 1 h de ejercicio concéntrico (cuesta arriba - CE) en cinta rodante al 40 % del VO2max en ambos.	Il-6 TNF-α	La concentración de IL-6 aumentó inmediatamente después en ambos protocolos. La concentración de TNF-α disminuyó significativamente de PRE a POST después de

		Ejercicio	Muestras tomadas antes, inmediatamente y 24h después.		del ejercicio cuesta abajo solamente mientras que cuesta arriba se mantuvo. No hubo cambios significativos 24h después al ensayo.
Schenk et al. (2021)	ECRA	24 sujetos Hombres 24.6 ± 3.9 años Grupos: Ejercicio Ejercicio	Resistencia: 45 min al 60% de la potencia máxima alcanzada después de un calentamiento de 5 min. Fuerza: 4x 8-10 repeticiones al 70% de 1RM (press de pecho, jalón al pecho, flexión de piernas, extensión de piernas, extensión de espalda. Se recolectaron muestras de sangre antes, inmediatamente después y 1 h después.	Células T (CD3+, CD8+)	La proporción de TCD3+ no varió en ningún grupo. Se indicó un aumento en el número absoluto de linfocitos CD3 + en ambos grupos. Las proporciones de CD8 + disminuyeron en el grupo de resistencia. Los números absolutos aumentaron en el grupo de resistencia.
Simonson & Jackson (2004)	ECA	16 sujetos 30±7 años Hombres Grupos: Ejercicio Control	Entrenamiento de fuerza de 8 ejercicios de 3 series de 8 a 10 repeticiones al 75% de 1RM. Mediciones antes, inmediatamente, 15 y 30 minutos después del ejercicio.	Leucocitos (linfocitos, neutrófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos)	Aumentaron linfocitos, monocitos y neutrófilos mientras que basófilos y eosinófilos no lo hicieron. Todos los recuentos de células elevados disminuyeron en 15 minutos y continuaron haciéndolo hasta los 30 minutos. Solo los neutrófilos no volvieron a los niveles previos. La relación CD4+ / CD8+ no cambió.
Tartibian et al. (2009)	ECA	18 sujetos Hombres 20,8± 1,93 años Grupos: Ejercicio Ejercicio	Correr en cinta al 65% y al 75% del VO2Max durante 30 minutos ambos grupos. Muestras tomadas antes, inmediatamente y 2 horas después del ejercicio	IL-6 PCR Leucocitos (neutrófilos y linfocitos)	IL-6 aumento significativamente en ambos protocolos siendo en el ejercicio intenso mayor. Siguió aumentado hasta las 2h de manera no significativa. PCR aumentó en ambos protocolos de manera significativa, no variando entre intervenciones. Recuento total de leucocitos aumentó en ambos siendo mayor en el ejercicio intenso.

					<p>Los neutrófilos se incrementaron de manera similar, siguiendo este aumento hasta las 2h en el ejercicio moderado.</p> <p>Los linfocitos no tuvieron cambios significativos inmediatamente después del ejercicio (aumentaron en el ejercicio intenso y descendieron en el ejercicio moderado, aunque después hubo un descenso significativo en el ejercicio intenso a las 2h).</p>
Turner et al. (2016)	ECRA	9 sujetos 22,1 ± 3,4 años Hombres Grupos: Ejercicio ejercicio	Ciclismo al 80% del VO 2 máx. durante 20 min o ejercicio intermitente de alta intensidad (10 rondas de 1 min al 90% del VO 2 máx., con 1 min al 40% del VO 2 máx. entre cada fase.) Mediciones antes, inmediatamente, y 30 minutos después del ejercicio.	Leucocitos Linfocitos (T CD3+, T CD8+ y NK)	<p>Leucocitos y linfocitos aumentaron en ambas intervenciones siendo mayor en el ejercicio continuo. 30 minutos después habían vuelto a los valores iniciales.</p> <p>T CD3 + y T CD8 + aumentaron sin haber diferencias significativas en ambos.</p> <p>Las células NK tuvieron un mayor aumento en el ejercicio continuo.</p>

ECA= Ensayo Cruzado Aleatorizado; ECRA= Ensayo Cruzado Aleatorizado; HIIT= Entrenamiento Interválico Alta intensidad;
IL-6= Interleucina-6; NK= Natural Killer, PCR= Proteína C-Reactiva; RM= Repetición Máxima TNF-α= Factor Necrosis Tumoral Alfa.

Tipo de estudio

Se analizaron 4 ensayos controlados aleatorizados y 11 ensayos cruzados aleatorios.

Características de los participantes

El nº de participantes varió entre 7 y 30 obteniendo una media de 14 participantes. Se analizaron un total de 201 participantes siendo 192 hombres y 9 mujeres. La mayoría de los estudios (n=13) analizaron solamente a hombres, habiendo únicamente 1 estudio con participantes femeninas (Philippe et al., 2016) y otro mixto (Harnish & Sabo, 2016). La edad media de los participantes fue 27,51 años. El IMC medio de los sujetos fue 25,18 kg/m². En los estudios donde no se incluyó, se calculó a partir de la altura y el peso medio. Los participantes se clasificaron como sedentarios desentrenados, inactivos, mínimamente activos, o en baja forma en 11 estudios. En los 4 restantes se comprobó el VO2MAX siendo su media 45,69 ml kg⁻¹ min⁻¹, por lo que no fueron considerados activos. (Brenner et al., 1999; Jamurtas et al., 2018; Schenk et al., 2021; Turner et al., 2016).

Características de la intervención

Dentro de los estudios que analizaron los efectos del ejercicio aeróbico o anaeróbico, 5 estudios se realizaron en cicloergómetro (Harnish & Sabo, 2016; Jamurtas et al., 2018; Kendall, et al., 1990; Mohebbi, et al., 2015; Turner et al., 2016), 2 en ciclo y corriendo al aire libre (Mendham et al., 2012; 2015), 2 en cinta rodante (Philippe et al., 2016; Tartibian et al., 2009) y 1 en ergómetro (Jilma, et al., 1997). Por otro lado 2 estudios se centraron únicamente en los efectos del entrenamiento de fuerza (Peake et al., 2006; Simonson & Jackson, 2004). El resto (n=3) fueron estudios mixtos (Brenner et al., 1999; Mendham et al., 2011; Schenk et al., 2021).

La duración y la intensidad de las intervenciones fueron heterogéneas:

En los grupos de fuerza la duración promedio fue 38 minutos (rango 30-50 minutos), en 1 estudio no se especifica la duración de la intervención (Brenner et al., 1999). La intensidad se midió en porcentajes de la repetición máxima (RM). Este porcentaje tuvo un rango de 60% a 80% de 1RM con un promedio de 69% 1RM. El rango de repeticiones y de series fue 8-10 y 3-4 respectivamente. Solamente 1 estudio midió la intensidad en porcentajes de la fuerza isométrica máxima (FIM). Se trabajó al 10% de FIM y al 100% de FIM de manera excéntrica (Peake et al., 2006).

En los grupos de aeróbico continuo la duración promedio fue de 59,8 minutos (rango 30-144 minutos). La intensidad se expresó mayormente en % de VO₂MAX. Los rangos fueron de 30% a 75% de VO₂MAX con un promedio de 60% de VO₂MAX. Otros estudios expresaron la intensidad en % VO₂MAXpeak (Harnish & Sabo, 2016; Mohebbi, et al., 2015; Philippe et al., 2016; Schenk et al., 2021), en % de carga de trabajo (Harnish & Sabo, 2016; Jilma, et al.,1997) o en % de frecuencia cardiaca media (FCM) (Mendham et al., 2012; 2015).

En los grupos de entrenamiento anaeróbico podemos diferenciar 3 pruebas de trabajo continuo que tuvieron una duración de 5 y 20 minutos, con una intensidad al 90% y al 80% del VO₂MAX cada una (Brenner et al., 1999; Turner, et al., 2016). y otra prueba realizada hasta el agotamiento (Jilma, et al.,1997). Tres grupos realizaron entrenamiento interválico con una duración total (incluyendo los tiempos de trabajo y descanso) de 5,7 y 14 minutos respectivamente (Harnish & Sabo, 2016; Jamurtas et al., 2018). La intensidad en los 3 estudios se midió en W siendo su promedio 364,5 W (rango 223,2- 412,5).

Características de los resultados

Las principales variables analizadas en los estudios son Interleucina-6 (IL-6), Factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), proteína C-reactiva (PCR), leucocitos y sus clases: monocitos, linfocitos y granulocitos (y a su vez sus subtipos como pueden ser los neutrófilos eosinófilos y basófilos, células T y Natural Killer (NK)).

IL-6

La IL-6 se analizó 9 en estudios que constan de 21 pruebas de ejercicio en total. En todos ellos hubo un aumento significativo inmediatamente después del ejercicio en comparación con los valores basales en al menos 1 de sus pruebas (Brenner et al., 1999; Harnish & Sabo, 2016; Mendham et al., 2011; 2012; 2015; Mohebbi et al.,2015; Peake et al., 2006; Philippe et al., 2016; Tartibian et al.,2009).

Factor De Necrosis Tumoral Alfa

El factor de necrosis tumoral alfa se evaluó en 6 estudios que contienen 13 pruebas de ejercicio en total. Hubo 3 estudios en los que no hubo un cambio significativo post-ejercicio (Mendham, et al., 2012; 2015; Peake et al., 2006). En 2 de ellos hubo un incremento inmediatamente tras el ejercicio (Harnish & Sabo, 2016) y de forma gradual hasta las 72 horas después respectivamente (Brenner. et al.,1999). En el estudio restante en uno de sus grupos no

hubo cambios en un grupo mientras que en el otro se produjo una reducción de esta citocina (Philippe et al., 2016).

Proteína C-Reactiva

La proteína C-reactiva se analizó en 5 estudios con 12 pruebas de ejercicio. En tres estudios no hubo cambios significativos ni entre los grupos ni a lo largo del tiempo (Mendham et al., 2012; 2015; Peake et al., 2006). En los dos estudios restantes se mostraron aumentos siendo en uno de ellos inmediatamente después del ejercicio mientras que en el otro fue a las 3 horas post-ejercicio en uno de sus grupos (Mendham et al., 2011; Tartibian et al., 2009).

Leucocitos Y Subtipos

También se evaluó el recuento de leucocitos totales en 6 estudios compuestos de 13 grupos de ejercicio. (Jamurtas et al., 2018; Mendham et al., 2011; Peake et al., 2006; Simonson & Jackson, 2004; Tartibian et al., 2009; Turner et al., 2016). En todos los estudios aumentó el recuento total en al menos 1 de sus grupos. Solo hubo 2 grupos que no tuvieron un incremento significativo en el número de leucocitos (Mendham et al., 2011).

3 estudios analizaron el recuento de monocitos y 1 el porcentaje respecto al número total de leucocitos constando de 9 grupos de ejercicio. En 2 estudios no hubo cambios entre los grupos o a lo largo del tiempo (Jamurtas et al., 2018; Peake et al., 2006). En los dos estudios restantes si hubo un cambio en al menos uno de los grupos inmediatamente después del ejercicio (Mendham et al., 2011; Simonson & Jackson, 2004).

5 estudios examinaron el número total de linfocitos y 2 el porcentaje respecto al número total de leucocitos siendo 15 pruebas de ejercicio, habiendo en 3 estudios cambios no significativos en el recuento del número absoluto (Tartibian et al., 2009; Turner et al., 2016). En 2 de ellos aumentó el porcentaje respecto al número total de leucocitos (Jamurtas et al., 2018; Jilma et al., 1997) y en los 2 restantes habiendo un aumento del número total en al menos 1 de sus grupos (Mendham et al., 2011; Peake et al., 2006)

Además, hubo 5 estudios que analizaron específicamente algunos tipos de células T (CD3+, CD8+ o CD4+) y/o células asesinas naturales o NK siendo 11 pruebas de ejercicio. El nº de células CD3+ y CD8+ se analizaron en 3 estudios aumentando en al menos 1 de sus grupos de manera significativa (Kendall et al., 1990; Schenk et al., 2021; Turner et al., 2016). CD4+

solo se evaluó en 2 teniendo los mismos resultados (Kendall et al., 1990; Simonson & Jackson, 2004).

1 estudio observó el porcentaje de granulocitos respecto al número total de leucocitos siendo menor después del ejercicio en uno de sus grupos (Jamurtas et al., 2018).

Asimismo 4 artículos observaron concretamente el recuento de neutrófilos y 1 de ellos analizando también el recuento de eosinófilos y basófilos analizando 9 grupos de ejercicio. El número de eosinófilos y basófilos no cambió (Simonson & Jackson, 2004), mientras que el de neutrófilos aumentó en todos sus estudios (Jilma et al., 1997; Mendham et al., 2011; Simonson & Jackson, 2004; Tartibian et al., 2009).

Moléculas de adhesión

Por último, un artículo investigó las moléculas de adhesión E-selectina, ICAM-1 y VCAM-1 (Jilma, et al., 1997) en los que no hubo cambios significativos.

6. Discusión

El propósito de esta revisión fue analizar que dice la evidencia científica respecto a los cambios agudos de los parámetros inmunológicos en adultos sedentarios tras realizar ejercicio físico.

Los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica sugieren que algunos de los parámetros analizados son influenciados por el ejercicio físico de manera aguda. Por otro lado, la respuesta de otras variables no queda clara debido al diverso tipo de resultados y/o a los pocos estudios encontrados.

Los parámetros inmunológicos se ven afectados por muchos factores además del ejercicio físico. Esto hace que haya un alto grado de variabilidad de la función inmune en la población. En la Figura 2 podemos observar los principales.

Figura 2

Factores que afectan a la función inmune



Adaptado de: Gleeson, M., Bishop, N., & Walsh, N. (Eds.). (2013). *Exercise Immunology (1st ed.)*. Routledge.

Algunas de ellas se han tenido en cuenta para que afectasen a los estudios de la menor manera posible.

Estrés

El estrés, tanto físico como psicológico, provoca la liberación de señales neuroendocrinas del cerebro que pueden afectar la función inmunológica. Este produce un aumento de hormonas glucocorticoides, catecolaminas y en cierta medida prolactina, la hormona del crecimiento y factor de crecimiento nervioso (Glaser & Kiecolt-Glaser, 2005). El estrés, puede tener efectos tanto saludables como perjudiciales, como cambios en la actividad de las células NK, cambios en la composición de las poblaciones de linfocitos en la sangre, cambios en número de linfocitos y producción de anticuerpos (Glaser & Kiecolt-Glaser 2005). El estrés puede tener consecuencias distintas dependiendo de si es agudo o crónico.

Estrés físico

Tras profundizar en los resultados obtenidos comprobamos que el ejercicio físico si afecta al sistema inmune. Los cambios son transitorios regresando a la normalidad en un margen de $\leq 1h$ o hasta 24 horas o más dependiendo de la intensidad, duración y marcador a analizar.

Si analizamos los efectos en los marcadores según intensidad y duración en los grupos de fuerza obtenemos que:

La duración fue similar en todos los grupos de fuerza salvo para Peake et al. (2006) siendo menor, por lo que no podemos comparar si este volumen de entrenamiento afecta o no a la respuesta inmune.

Según la intensidad del ejercicio nos encontramos con resultados diversos dependiendo de que variables analicemos.

La IL-6 se analizó en 3 estudios, de los cuales aumentó solamente en los de una intensidad superior al 70% 1RM o con trabajo excéntrico (Mendham et al., 2011; Peake et al., 2006).

TNF- α se analizó en 2 estudios en los cuales no cambió tras el ejercicio con una intensidad de 70% 1RM o trabajo excéntrico. (Brenner et al., 1999; Peake et al., 2006).

La PCR fue evaluada en 2 estudios también, obteniéndose un aumento en un grupo de intensidad moderada vigorosa (80% 1RM) mientras que en el de resistencia ligera (60% 1RM) y trabajo excéntrico no (Mendham et al., 2011; Peake et al., 2006).

El recuento total de leucocitos se valoró en 3 estudios aumentando tras el ejercicio en intensidades superiores $\geq 75\%$ 1RM o con trabajo excéntrico.

Dentro de las subpoblaciones de leucocitos nos encontramos con los monocitos y linfocitos, que incrementaron su número en intensidades superiores $\geq 75\%$ 1RM, pero no con trabajo excéntrico (Mendham et al., 2011; Peake et al., 2006; Simonson & Jackson, 2004). Respecto a los subtipos de linfocitos, se valoraron las células CD3+, CD8+ y CD4+ en 2 estudios, en uno de ellos no varió la proporción de células CD3+ aunque si varió el número absoluto inmediatamente después del ejercicio mientras que CD8+ no tuvo cambios significativos. En el otro estudio aumentó tanto el número absoluto como el porcentaje de

CD4+ y CD8+. La intensidad fue similar en ambos estudios siendo 70% (Schenk et al., 2021) y 75% 1RM (Simonson & Jackson, 2004) respectivamente por lo que no se puede obtener un resultado claro. Las células NK se estudiaron en 2 ensayos aumentando en todos los grupos independientemente de la intensidad (Brenner et al., 1999; Simonson & Jackson, 2004). Dentro de los granulocitos se evaluó específicamente los neutrófilos en 2 estudios donde hubo un incremento en ambos con una intensidad $\geq 75\%$ 1RM (Mendham et al., 2011; Simonson & Jackson, 2004). Eosinófilos y basófilos no tuvieron cambios a 75% 1RM.

Si analizamos los marcadores según la intensidad y duración en el ejercicio cardiorrespiratorio, observamos que tanto la duración como la intensidad fueron muy heterogéneas.

La IL-6 fue analizada en 8 estudios en los cuales aumentó en todos los grupos salvo en 1 donde se trabajó a un porcentaje del 30% de la carga aeróbica máxima durante 40 minutos (Mendham et al., 2011). El resto de los grupos tuvo una intensidad mayor del 50% de la FC_{MAX} o 40% VO_{2MAX} con una duración mínima de 30 minutos para el ejercicio continuo y de 5 minutos para el ejercicio interválico.

El TNF- α se valoró en 5 estudios en los cuales en 3 de ellos no tuvo cambios significativos y además en un grupo disminuyó significativamente Mendham et al., 2012; 2015; Philippe et al., 2016). Tuvieron una intensidad de 40% VO_{2MAX} o 80-85% FC_{MAX} y duración de ≥ 40 minutos. En los 2 estudios donde si incrementó fue 2 horas de al 60-75% VO_{2MAX} para continuo o 5 y 7 minutos para interválico con una potencia media de 223,2 W y 457 W. El aumento en continuo se produjo hasta las 72 horas. (Brenner et al., 1999; Harnish & Sabo, 2016).

La PCR se evaluó en 4 estudios en los cuales en 3 de ellos no hubo cambios entre los grupos ni a lo largo del tiempo con una duración de 40 minutos y una intensidad $\geq 30\%$ de la carga aeróbica máxima. (Mendham et al., 2011; 2012; 2015). En el estudio restante se trabajó al 75% y al 60% del VO_{2MAX} durante 30 minutos (Tartibian et al., 2009).

El recuento total de leucocitos se analizó en 4 estudios en los que todos los grupos salvo 1 en que no aumentó el número absoluto (Mendham et al., 2011) con una duración de 40 minutos al 30% de la FC_{MAX} . Los otros 3 estudios duraron entre 20 y 40 minutos a una intensidad entre el 60% y 80% VO_{2MAX} en trabajo continuo y entre 14 y 20 minutos el trabajo

interválico con una intensidad de $412,5 \pm 77.3$ W o 90% VO_{2MAX} (Jamurtas et al., 2018; Tartibian et al., 2009; Turner et al., 2016).

Dentro de sus subpoblaciones tenemos los monocitos analizados en 2 estudios con resultados opuestos, no habiendo en 3 grupos cambios con una intensidad de 30% de la FC_{MAX} durante 40 minutos, trabajo interválico o al 70 % VO_{2MAX} durante 30 minutos pero si al 50% de la FC_{MAX} durante 40 minutos aunque en uno de los ensayos se habla de la proporción respecto al total de leucocitos mientras que en otro estudio se habla del número absoluto, por lo que no haya un cambio en el porcentaje puede significar un mayor aumento en las otras subpoblaciones. (Jamurtas et al; Mendham et al., 2011). En los linfocitos, el recuento total aumentó en 2 estudios inmediatamente después el ejercicio al 50% de la FC_{MAX} 40 minutos y al 80% VO_{2MAX} 20 minutos en continuo o 90% VO_{2MAX} de ejercicio interválico durante 20 minutos y disminuyó en un estudio en las horas posteriores al ejercicio (Tartibian et al., 2009) al 75% del VO_{2MAX} durante 30 minutos. Si nos centramos en sus subtipos, se analizó el recuento de células T $CD3+$ y $CD8+$ en 3 estudios. El recuento de células T $CD3+$ aumentó en los 3 estudios en al menos 1 de los grupos, la duración fue mayor o igual a 20 minutos y la intensidad fue $\geq 60\%$ VO_{2MAX} en continuo y 20 minutos al 90% VO_{2MAX} para interválico (Kendall et al., 1990; Schenk et al., 2021; Turner et al., 2016). En las células T $CD8+$ se obtuvieron resultados contradictorios ya que en 2 estudios si hubo aumentos en intensidades mayores al 65% VO_{2MAX} y una duración mayor a 20 minutos (Kendall et al., 1990; Turner et al., 2016), pero no para 45 minutos al 60% VO_{2PICO} (Schenk et al., 2021). Los linfocitos T $CD4+$ se examinaron en un solo estudio sin haber cambios significativos en los sujetos sedentarios (Kendall et al., 1990). Respecto a las células NK se estudió en 3 ensayos aumentando independientemente del grupo con intensidades $\geq 60\%$ VO_{2MAX} y una duración de 5 minutos o más (Brenner et al., 1999; Kendall et al., 1990; Turner et al., 2016). Se evaluó el porcentaje de granulocitos en 1 ensayo en el que el trabajo interválico de 412.5 ± 77.3 W y 14 minutos de duración provocó una disminución de éste (Jamurtas et al., 2018). Dentro de los subtipos de granulocitos se analizó el recuento de neutrófilos en 2 estudios donde el incremento se produjo horas después del ejercicio con una duración 30-40 minutos y una intensidad $\geq 65\%$ VO_{2MAX} . (Mendham et al., 2011; Tartibian et al., 2009). El porcentaje de neutrófilos se examinó en Jilma et al. (1997) produciéndose solo un incremento en el grupo de 60 minutos al 60% de su máxima intensidad de trabajo.

Estrés psicológico

Mientras que el estrés físico si ha sido controlado en los estudios es cierto que el estrés psicológico es más complicado de controlar ya que cualquier estímulo puede resultar en un factor estresante para un individuo.

El estrés psicológico está formado por un conjunto de eventos, que comprende un factor estresante que provoca una acción en el cerebro (percepción del estrés) y activa los sistemas fisiológicos de éste.

Los episodios de estrés agudo provocan cambios rápidos en la composición de los glóbulos blancos en la sangre periférica, de modo que, durante el estrés agudo, el número de células NK aumenta rápidamente, mientras que el número de células T CD8 + aumenta, pero en menor medida. En este sentido, el impacto del estrés agudo es comparable al del ejercicio de corta duración, aunque se reduce ligeramente. El estrés agudo también puede aumentar la actividad de las células NK. Por tanto, el estrés agudo parece estimular más que inhibir la actividad del sistema inmunológico (Gleeson et al., 2013).

Los efectos del estrés crónico, que incluyen trastornos psicológicos como la depresión, incluyen una reducción de la actividad de las células NK, una reducción de la proliferación de linfocitos, una reducción de las respuestas a la vacunación y la reactivación de los virus del herpes. Además, el estrés prolongado se asocia con una elevación moderada de los marcadores inflamatorios, como IL-6 y TNF- α y proteínas de fase aguda como la proteína C-reactiva y el fibrinógeno. Estos cambios pueden verse influenciados a un cambio de estilo de vida relacionado con el propio estrés (Gleeson et al., 2013).

Edad

Los efectos del envejecimiento en el sistema inmune se observan en una disminución de la producción de linfocitos B y T en la médula ósea y en el timo y una función disminuida de los linfocitos maduros en los tejidos linfoides secundarios. Esto provoca que las personas mayores tengan una respuesta inmunológica más débil (Montecino-Rodriguez et al., 2013). Por ello, en los estudios analizados se escogió mayoritariamente gente joven salvo en 2 estudios que tienen participantes entre 40 y 50 años (Mendham et al., 2011; 2015).

Sexo

En las mujeres, los estrógenos y la progesterona modulan la función inmune y, por lo tanto, está influenciada por el ciclo menstrual y el embarazo. Los estrógenos generalmente mejoran el sistema inmunológico, mientras que los andrógenos que inducen la testosterona ejercen efectos supresores sobre las respuestas inmunitarias tanto humorales como celulares (Gleeson et al., 2013). Probablemente esta sea la razón por la cual los estudios se hayan centrado solamente en los hombres.

Sueño

El sueño afecta al sistema inmunológico, ya que como hemos visto, está influenciado por neurotransmisores, hormonas y citocinas, que son controladas a su vez por el sistema nervioso. Además, las células T y NK se ven influenciadas por los ritmos circadianos. El sueño de mala calidad y no dormir lo suficiente producen una respuesta de estrés que a su vez genera la producción de citocinas proinflamatorias, que también producen inmunodeficiencia (Gleeson et al., 2013). En los estudios no se ha mencionado la calidad del sueño de los participantes, por lo que puede ser un factor que altere los resultados.

Nutrición

Aspectos como la ingesta de grasas o proteínas, los suplementos multivitamínicos y minerales, el consumo de alcohol o fumar, ejercen una influencia significativa sobre la función inmunológica. Tanto el exceso como la escasez de ciertos nutrientes puede ser perjudicial en la respuesta inmune (Gleeson et al., 2013). Este factor si se ha tenido en cuenta en los estudios ya que en todos se ha hecho un ayuno en las horas anteriores a la intervención además de seguir la dieta de los participantes los días anteriores o estandarizarla para comprobar que estuviesen dentro de los parámetros correctos.

7. Conclusiones

Tras la observación de los resultados obtenidos podemos concluir con que el ejercicio físico agudo provoca cambios en parámetros que afectan al sistema inmune. Algunos parámetros son más sensibles al ejercicio físico ya que se ha visto que responden a más intensidades y duraciones como es el caso de las células NK o la IL-6. Otros, por el contrario, requieren de mayor investigación como el TNF- α o la PCR al tener pocos resultados sobre ellos y algunos, incluso, son contradictorios. No se pudo observar las diferencias respecto al sexo, debido a la poca muestra de la población femenina.

Respecto al tipo de ejercicio se ha comprobado que en el ejercicio de fuerza la mayoría de las variables se ven afectadas conforme va aumentando la intensidad mientras que no se ha podido verificar si el tiempo afecta ya que todos los estudios tenían una duración similar. Por otro lado, en el ejercicio cardiorrespiratorio se han obtenido un mayor número de ensayos con mayor variedad de condiciones por lo que se ha podido estudiar más en profundidad. Los resultados han sido similares al ejercicio de fuerza y se ha visto que la respuesta inmune depende más de la intensidad que la duración del ejercicio. Los cambios producidos en ambos tipos de ejercicio vuelven al estado basal entre ≤ 1 y 24 horas.

8. Referencias

- Brenner, I. K., Natale, V. M., Vasiliou, P., Moldoveanu, A. I., Shek, P. N., & Shephard, R. J. (1999). Impact of three different types of exercise on components of the inflammatory response. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(5), 452-460. <https://doi.org/10.1007/s004210050617>
- Brown, W. M., Davison, G. W., McClean, C. M., & Murphy, M. H. (2015). A Systematic Review of the Acute Effects of Exercise on Immune and Inflammatory Indices in Untrained Adults. *Sports medicine - open*, 1(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0032-x>
- Campbell, J. P., & Turner, J. E. (2018). Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan. *Frontiers in immunology*, 9, 648. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00648>
- Collado V, Porrás E, Cutuli MT y Gómez-Lucía E (2008) El sistema inmune innato I: Sus mecanismos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 2(1): 1-16.
- Dunton, G. F., Do, B., & Wang, S. D. (2020). Early effects of the COVID-19 pandemic on physical activity and sedentary behavior in children living in the U.S. *BMC public health*, 20(1), 1351. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09429-3>
- Garita Azofeifa, E. (2006). Motivos de participación y satisfacción en la actividad física, el ejercicio físico y el deporte. *MHSalud: Revista En Ciencias Del Movimiento Humano y Salud*, 3(1), 1659–097. <https://doi.org/10.15359/mhs.3-1.2>
- Glaser, R., & Kiecolt-Glaser, J. K. (2005). Stress-induced immune dysfunction: implications for health. *Nature reviews. Immunology*, 5(3), 243–251. <https://doi.org/10.1038/nri1571>
- Gleeson, M., Bishop, N., & Walsh, N. (Eds.). (2013). *Exercise Immunology (1st ed.)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203126417>
- Gonçalves, C., Dantas, P., Dos Santos, I. K., Dantas, M., da Silva, D., Cabral, B., Guerra, R. O., & Júnior, G. (2020). Effect of Acute and Chronic Aerobic Exercise on Immunological Markers: A Systematic Review. *Frontiers in physiology*, 10, 1602. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01602>

- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *The Lancet. Global health*, 6(10), e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)
- Harnish, C. R., & Sabo, R. T. (2016). Comparison of Two Different Sprint Interval Training Work-to-Rest Ratios on Acute Inflammatory Responses. *Sports medicine - open*, 2, 20. <https://doi.org/10.1186/s40798-016-0044-1>
- Hoffman-Goetz, L., & Pedersen, B. K. (1994). Exercise and the immune system: a model of the stress response?. *Immunology today*, 15(8), 382–387. [https://doi.org/10.1016/0167-5699\(94\)90177-5](https://doi.org/10.1016/0167-5699(94)90177-5)
- Jamurtas, A. Z., Fatouros, I. G., Deli, C. K., Georgakouli, K., Poullos, A., Draganidis, D., Papanikolaou, K., Tsimeas, P., Chatzinikolaou, A., Avloniti, A., Tsiokanos, A., & Koutedakis, Y. (2018). The Effects of Acute Low-Volume HIIT and Aerobic Exercise on Leukocyte Count and Redox Status. *J Sports Sci Med*, 17(3), 501-508.
- Jilma, B., Eichler, H. G., Stohlawetz, P., Dirnberger, E., Kapiotis, S., Wagner, O. F., Schutz, W., & Krejcy, K. (1997). Effects of exercise on circulating vascular adhesion molecules in healthy men. *Immunobiology*, 197(5), 505-512. [https://doi.org/10.1016/S0171-2985\(97\)80082-4](https://doi.org/10.1016/S0171-2985(97)80082-4)
- Kaminsky, L. A., Arena, R., & Myers, J. (2015). Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic proceedings*, 90(11), 1515–1523.
- Kendall, A., Hoffman-Goetz, L., Houston, M., MacNeil, B., & Arumugam, Y. (1990). Exercise and blood lymphocyte subset responses: intensity, duration, and subject fitness effects. *J Appl Physiol (1985)*, 69(1), 251-260. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.1.251>
- Lee, I.-M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N., & Katzmarzyk, P. T. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *The Lancet*, 380(9838), 219–229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)

- Lim M. A. (2020). Exercise addiction and COVID-19-associated restrictions. *Journal of mental health* (Abingdon, England), 1–3. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/09638237.2020.1803234>
- Macera, C. A., Hootman, J. M., & Sniezek, J. E. (2003). Major public health benefits of physical activity. *Arthritis and rheumatism*, 49(1), 122–128. <https://doi.org/10.1002/art.10907>
- Marshall, J. S., Warrington, R., Watson, W., & Kim, H. L. (2018). An introduction to immunology and immunopathology. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 14(S2). <https://doi.org/10.1186/s13223-018-0278-1>
- Mendham, A. E., Coutts, A. J., & Duffield, R. (2012). The acute effects of aerobic exercise and modified rugby on inflammation and glucose homeostasis within Indigenous Australians. *Eur J Appl Physiol*, 112(11), 3787-3795. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2361-5>
- Mendham, A. E., Donges, C. E., Liberts, E. A., & Duffield, R. (2011). Effects of mode and intensity on the acute exercise-induced IL-6 and CRP responses in a sedentary, overweight population. *Eur J Appl Physiol*, 111(6), 1035-1045. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1724-z>
- Mendham, A. E., Duffield, R., Marino, F., & Coutts, A. J. (2015). Differences in the acute inflammatory and glucose regulatory responses between small-sided games and cycling in sedentary, middle-aged men. *J Sci Med Sport*, 18(6), 714-719. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.09.008>
- Mohebbi, H., Nourshahi, M., Ghasemikaram, M., & Safarimosavi, S. (2015). Effects of exercise at individual anaerobic threshold and maximal fat oxidation intensities on plasma levels of nesfatin-1 and metabolic health biomarkers. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 71(1), 79-88.
- Montecino-Rodriguez, E., Berent-Maoz, B., & Dorshkind, K. (2013). Causes, consequences, and reversal of immune system aging. *The Journal of clinical investigation*, 123(3), 958–965. <https://doi.org/10.1172/JCI64096>

- Peake, J. M., Neubauer, O., Walsh, N. P., & Simpson, R. J. (2017). Recovery of the immune system after exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *122*(5), 1077–1087. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00622.2016>
- Peake, J. M., Nosaka, K., Muthalib, M., & Suzuki, K. (2006). Systemic inflammatory responses to maximal versus submaximal lengthening contractions of the elbow flexors. *Exerc Immunol Rev*, *12*, 72-85.
- Pedersen, B. K., & Hoffman-Goetz, L. (2000). Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiological reviews*, *80*(3), 1055–1081. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1055>
- Philippe, M., Junker, G., Gatterer, H., Melmer, A., & Burtscher, M. (2016). Acute effects of concentric and eccentric exercise matched for energy expenditure on glucose metabolism in healthy females: a randomized crossover trial. *Springerplus*, *5*(1), 1455. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3062-z>
- Raphael, I., Nalawade, S., Eagar, T. N., & Forsthuber, T. G. (2015). T cell subsets and their signature cytokines in autoimmune and inflammatory diseases. *Cytokine*, *74*(1), 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2014.09.011>
- Schenk, A., Joisten, N., Walzik, D., Koliymitra, C., Schoser, D., Bloch, W., & Zimmer, P. (2021). Acute exercise impacts AhR and PD-1 levels of CD8(+) T-cells-Exploratory results from a randomized cross-over trial comparing endurance versus resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, *121*(2), 637-644. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04552-w>
- Simonson, S. R., & Jackson, C. G. R. (2004). Leukocytosis Occurs in Reponse to Resistance Exercise in Men. *Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA*, *18*(2), 266-271.
- Simpson, R. J., Campbell, J. P., Gleeson, M., Krüger, K., Nieman, D. C., Pyne, D. B., Turner, J. E., & Walsh, N. P. (2020). Can exercise affect immune function to increase susceptibility to infection?. *Exercise immunology review*, *26*, 8–22.

- Simpson, R. J., Kunz, H., Agha, N., & Graff, R. (2015). Exercise and the Regulation of Immune Functions. *Progress in molecular biology and translational science*, 135, 355–380. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.08.001>
- Tartibian, B., Azadpoor, N., & Abbasi, A. (2009). Effects of two different type of treadmill running on human blood leukocyte populations and inflammatory indices in young untrained men. *J Sports Med Phys Fitness*, 49(2), 214-223.
- Tison, G. H., Avram, R., Kuhar, P., Abreau, S., Marcus, G. M., Pletcher, M. J., & Olgin, J. E. (2020). Worldwide Effect of COVID-19 on Physical Activity: A Descriptive Study. *Annals of Internal Medicine*, 173(9), 767–770. <https://doi.org/10.7326/M20-2665>
- Turner, J. E., Wadley, A. J., & Aldred, S. (2016). Intensive exercise does not preferentially mobilize skin-homing t cells and nk cells. *Medicine & Science in Sports & exercise: Official Journal of the American College of Sports Medicine*, 48(7), 1285-1293.
- Warburton, D. E., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ: Canadian Medical Association journal*, 174(6), 801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
- World Health Organization. (2009). *Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva, Switzerland: WHO.
- World Health Organization (2010). *Global recommendations on physical activity for health*. Geneva, Switzerland: WHO.
- World Health Organization (2020). *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour* Geneva, Switzerland: WHO.

9. Anexos

Anexo 1. Percentiles específicos para el fitness cardiorrespiratorio según la edad y el sexo.

Grupo de edad	Percentil							
Hombres	5	10	25	50	55	75	90	95
20–29	29.0	32.1	40.1	48.0	49.0	55.2	61.8	66.3
30–39	27.2	30.2	35.9	42.4	43.8	49.2	56.5	59.8
40–49	24.2	26.8	31.9	37.8	38.9	45.0	52.1	55.6
50–59	20.9	22.8	27.1	32.6	33.8	39.7	45.6	50.7
60–69	17.4	19.8	23.7	28.2	29.1	34.5	40.3	43.0
70–79	16.3	17.1	20.4	24.4	25.2	30.4	36.6	39.7
Grupo de edad	Percentil							
Mujeres	5	10	25	50	55	75	90	95
20–29	21.7	23.9	30.5	37.6	38.9	44.7	51.3	56.0
30–39	19.0	20.9	25.3	30.2	31.2	36.1	41.4	45.8
40–49	17.0	18.8	22.1	26.7	27,7	32.4	38.4	41.7
50–59	16.0	17.3	19.9	23.4	24.4	27.6	32.0	35.9
60–69	13.4	14.6	17.2	20.0	20.5	23.8	27.0	29.4
70–79	13.1	13.6	15.6	18.3	19.8	20.8	23.1	24.1

Adaptado de: Kaminsky, L. A., Arena, R., & Myers, J. (2015). Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic proceedings*, 90(11), 1515–1523.