

FACULTAD DE EDUCACIÓN Y DEPORTE
Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Curso: 2019-2020

**RELACIÓN ENTRE EL EJERCICIO FÍSICO Y LA VARIACIÓN DE LA
GLUCEMIA EN ADULTOS JÓVENES CON DIABETES MELLITUS TIPO 1 QUE
SUFREN HIPOGLUCEMIAS DESAPERCIBIDAS**

AUTOR: AITOR LAMBERTO ZUBICOA

DIRECTOR: GORKA ITURRIAGA MADARIAGA

Fecha, 30 de mayo de 2020

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Resumen..... | 3 |
| 1. Introducción | 4 |
| 1.1. Definición de Ejercicio Físico..... | 4 |
| 1.1.1. Clasificación según las rutas metabólicas | 4 |
| 1.2. Diabetes | 5 |
| 1.2.1. ¿Qué es la diabetes? | 5 |
| 1.2.2. Tipos..... | 5 |
| 1.2.3. Diabetes Mellitus Tipo 1: Tratamiento..... | 6 |
| 1.2.4. Complicaciones..... | 6 |
| 2. Justificación..... | 7 |
| 3. Ejercicio físico y Diabetes | 9 |
| 3.1. ¿Por qué se recomienda el Ejercicio Físico en sujetos con DMT1? | 9 |
| 3.2. Recomendaciones en la actualidad..... | 10 |
| 3.3. La hipoglucemia | 12 |
| 3.4. Problemas del sujeto con DMT1 | 13 |
| 4. Variaciones de la glucemia en función del tipo de ejercicio físico | 13 |
| 4.1. Aeróbico | 14 |
| 4.1.1. Aeróbico con intervalos | 15 |
| 4.2. Anaeróbico | 16 |
| 4.2.1. Sprint | 17 |
| 4.2.2. HIIT..... | 17 |
| 4.2.3. Fuerza | 19 |
| 4.3. Entrenamiento concurrente | 21 |
| 5. Conclusiones | 22 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 6. | Propuesta práctica..... | 24 |
| 6.1. | Fuerza..... | 25 |
| 6.2. | Capacidad aeróbica | 27 |
| 6.3. | Consideraciones | 28 |
| 6.4. | Sesión de entrenamiento | 29 |
| 6.4.1. | Organización de la sesión | 29 |
| 6.4.2. | Programa de entrenamiento basado en esta sesión..... | 29 |
| 7. | Aspectos metodológicos y teóricos a tener en cuenta | 32 |
| 7.1. | Limitaciones de la propuesta | 33 |
| 8. | ANEXOS | 35 |
| 8.1. | ANEXO I..... | 35 |
| 9. | Referencias bibliográficas | 37 |

Resumen

La diabetes afectaba a 1 de cada 11 adultos en 2015, cifra la cual se prevé que siga aumentando en los próximos años. Un buen control glucémico es necesario para mantener la calidad de vida de las personas con Diabetes Mellitus Tipo 1, el cual no está demostrado que aumente con la realización de ejercicio físico. Éste, por su parte, alterará los valores glucémicos, pudiendo causar una hipoglucemia. Es por esta razón que las personas con Diabetes tienen una peor condición física que sus similares sin Diabetes, algo que puede verse afectado debido a que las indicaciones que se dan a las personas con Diabetes para la realización de ejercicio físico son muy básicas o no tienen en cuenta las características del entrenamiento.

Por estas razones, este trabajo se ha centrado en recopilar información sobre las variaciones que tienen lugar en la glucemia de las personas con Diabetes Mellitus Tipo 1 según el tipo de ejercicio físico que se realice, con el fin de determinar cual de ellos es el más seguro para este sector, evitando las hipoglucemias.

Además, el trabajo ofrece una propuesta práctica en la cual se detalla una sesión de entrenamiento con la que mejorar la condición física global de adultos jóvenes con Diabetes Mellitus Tipo 1 que sufren hipoglucemias desapercibidas. El objetivo principal de esta propuesta es que estas personas se habitúen a realizar ejercicio físico sin sufrir hipoglucemias para conseguir disociar el ejercicio físico y la hipoglucemia.

1. Introducción

1.1. Definición de Ejercicio Físico

Se define la "actividad física" como cualquier movimiento del cuerpo humano producido por los músculos esqueléticos que resulta en un gasto de energía. Ésta puede tener lugar en el trabajo, en el tiempo de ocio, al realizar las labores diarias, etc. (Caspersen, Powell, y Christenson, 1985).

El término "ejercicio físico" suele ser intercambiado con el de "actividad física", y aunque cuentan con elementos similares, el ejercicio físico es una subcategoría de la actividad física. El ejercicio físico es un tipo de actividad física que está planificada, estructurada, es reiterativa y tiene un objetivo deliberado de mejorar o mantener uno o más componentes del estado físico (Caspersen et al., 1985).

1.1.1. Clasificación según las rutas metabólicas

Con el fin de poder dar una explicación del por qué de las variaciones en la glucemia, debemos determinar en primer lugar el origen de los combustibles que utiliza el cuerpo al realizar ejercicio físico, con el fin de entender el motivo de esos cambios.

Si diferenciamos los tipos de ejercicio físico según las rutas metabólicas que se utilizan principalmente para la obtención de energía, podemos diferenciar tres tipos (López Chicharro y López Mojares, 2009):

- **Vía Anaeróbica Aláctica:** La energía que obtenemos proviene de los fosfógenos. El acceso a la energía mediante esta vía es muy rápido pero su duración es muy breve.
- **Vía Anaeróbica Láctica:** Se obtiene energía a partir de la degradación de glucosa, obteniendo como resultado final energía y lactato (de ahí su nombre). Esta vía no es tan rápida como la anterior pero su duración es superior.
- **Vía Aeróbica:** Mediante la oxidación de ácidos grasos y glucosa se obtiene adenosín trifosfato (ATP), además de dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). Esta ruta no nos aporta tanta

energía por unidad de tiempo, pero sí que es capaz de hacerlo durante un tiempo más prolongado.

1.2. Diabetes

1.2.1. ¿Qué es la diabetes?

La Diabetes Mellitus, tal y como la define la Federación Internacional de la Diabetes (FID, 2015) es “una condición crónica que ocurre cuando el cuerpo no puede producir suficiente insulina o no puede utilizar insulina, y se diagnostica observando los niveles altos de glucosa en sangre” (p.22).

La insulina es una de las hormonas que produce el páncreas y es necesaria para que la glucosa que se encuentra en la sangre pueda ser transportada al interior de la célula para ser utilizada como energía o almacenada. En el caso de que la insulina no realice su función por ineficacia o falta de producción, la glucosa continuará por el torrente sanguíneo, causando la conocida hiperglucemia. Ésta, si perdura en el tiempo, causará daños en diferentes tejidos del cuerpo, produciendo complicaciones para la vida del sujeto con diabetes (FID, 2015).

El diagnóstico de la diabetes presenta unos síntomas previos como polidipsia, poliuria, polifagia y pérdida de peso, los cuales pueden ir acompañados de una falta de energía, visión borrosa... (FID, 2015).

1.2.2. Tipos

La diabetes se divide, de manera general, en tres tipos (FID, 2015):

- Diabetes Mellitus Tipo 1: Es causada por una reacción autoinmune, donde el cuerpo ataca las células-beta del páncreas, terminando con la producción de insulina.**
- Diabetes Mellitus Tipo 2: Originada por una gran resistencia a la insulina por parte del cuerpo, de modo que la insulina producida no es suficiente, quedando glucosa en la sangre y causando la hiperglucemia.**
- Diabetes Mellitus Gestacional: Se diagnostica cuando la primera hiperglucemia se ha detectado durante el embarazo.**

Suele desaparecer tras el parto, pero existe un riesgo mayor de volver a desarrollarla en próximos embarazos.

1.2.3. Diabetes Mellitus Tipo 1: Tratamiento

Las personas con Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1) necesitan, al no poder producir insulina propia, la aplicación de ésta de manera exógena. Existen diferentes maneras de aplicar insulina, pero las más frecuentes son el tratamiento con plumas de insulina o con la bomba infusora de insulina (Wood y Peters, 2018). Aunque el objetivo es el mismo, existen ciertas diferencias entre estos dos métodos:

- **Plumas de insulina: Con este tratamiento es necesario realizar múltiples inyecciones al día. Existen insulinas de acción rápida (que se utilizan con la ingesta de alimentos), las insulinas de acción lenta (una insulina basal para que haya en todo momento insulina activa disponible) y las que son una mezcla de insulinas en diferentes proporciones, aunque son menos utilizadas por lo general.**
- **Bomba infusora de insulina: Se trata de un dispositivo conectado al cuerpo 24 horas al día. Podemos distinguir dos grandes funciones: los bolos de insulina que se utilizarán principalmente con la ingesta de alimento y la insulina basal que será administrada de forma continuada durante todo el día.**

Una de las ventajas que presenta la bomba es el hecho de poder modificar la insulina basal en momentos concretos (al realizar actividad física por ejemplo), mientras que, si modificamos la insulina basal en un tratamiento con plumas, todo el periodo de actuación de la misma (hasta 42 horas) se verá afectado (Wood y Peters, 2018).

1.2.4. Complicaciones

Un mal control de la glucemia y una constante hiperglucemia conduce a multitud de complicaciones del sujeto con DMT1 (Wood y Peters, 2018). Las que más incidencia tienen son las siguientes:

- **Enfermedades de los ojos (Retinopatía diabética).**
- **Enfermedad cardiovascular (Angina de pecho, infarto de miocardio, accidente cerebrovascular...).**
- **Complicaciones en el embarazo.**
- **Pie diabético con el deterioro de los vasos sanguíneos.**
- **Salud bucal (periodontitis).**
- **Enfermedad renal.**
- **Daño en el sistema nervioso (neuropatía periférica).**

2. Justificación

La diabetes afectaba a 1 de cada 11 adultos entre los 20 y los 79 años de edad en 2015, una cifra que se prevé que siga aumentando en los próximos años. Aunque la diabetes tipo 1 no supone un porcentaje mayoritario en los casos de diabetes (7%-12% en los países de renta alta), sigue siendo un número considerable (FID, 2015).

En las personas sin DMT1, la actividad física mejora numerosos aspectos relacionados con la salud y la calidad de vida (enfermedad cardiovascular, HTA, osteoporosis, cáncer de colon, obesidad...) (Haskell et al., 2007). Sin embargo, muchos de éstos beneficios que se asocian a las personas con DMT1, se basan en investigaciones con personas con DMT2 o sujetos sin diabetes (Chimen et al., 2012).

En cuanto al nivel de actividad física, hay autores que indican que las personas con DMT1 son al menos tan inactivas como sus semejantes sin diabetes (Riddell et al., 2017). Otras investigaciones indican, aunque no haya un consenso en este aspecto, que las personas con DMT1, a pesar de realizar un nivel de actividad física similar, presentaban una peor condición física que los sujetos sin diabetes (Chimen et al., 2012).

Si analizamos las razones para no realizar ejercicio físico, aparece como principal motivo el miedo a la hipoglucemia (Brazeau et al., 2008; Kennedy et al., 2018). Otro gran aspecto que frena la práctica de ejercicio físico, muy similar al anterior, es el miedo a perder el control glucémico,

seguido de la falta de tiempo y de otros puntos ajenos a la diabetes como son el difícil acceso a instalaciones o el desconocimiento de cómo realizar ejercicio físico (Riddell et al., 2017). Incluso adultos con un debut reciente reconocen que el ejercicio físico descenderá su glucemia (Kennedy et al., 2018), viéndolo unos como algo positivo, mientras que otros lo asociaban a la hipoglucemia, lo cual causaba miedo.

Se define como un buen control glucémico una hemoglobina glicosilada (HbA1C) no superior al 7% sin casos de hipoglucemia graves (Wood y Peters, 2018). En un estudio se declaró que las personas con DMT1 que realizaban de manera frecuente actividad física de una intensidad mayor tenían un peor control glucémico (entendido como una HbA1C mayor) que aquellos que no realizaban actividad física de alta intensidad. En este aspecto, el estudio señala que a pesar de los beneficios que proporciona el ejercicio físico a intensidades altas, los perjuicios que puede causar pueden llegar a no compensar.

Las recomendaciones que existen actualmente emitidas por la American Diabetes Association (ADA, s. f.) para manejar la glucemia durante la realización de actividad física se basan en aumentar la ingesta de carbohidratos o en reducir la insulina.

Es por eso que el objetivo de este trabajo es determinar cómo afecta el ejercicio físico (dependiendo de la intensidad de éste) a la glucemia de adultos jóvenes con DMT1 que sufren hipoglucemias desapercibidas (HD) para facilitar su control glucémico y reducir el riesgo de hipoglucemia durante la práctica.

Para lograrlo, debido a la falta de investigaciones que analizan los efectos del ejercicio físico en la glucemia de personas que presentan HD, se va a estudiar cómo afecta a adultos jóvenes con DMT1 en general, para poder extrapolar esos conocimientos al grupo con HD. Estos datos obtenidos se podrán aplicar en el grupo mencionado con HD ya que éste se asocia generalmente, aunque haya diversidad de opiniones, a hipoglucemias constantes o graves, consiguiendo de esta manera que el cuerpo se “acostumbre” a la hipoglucemia y no envíe síntomas al encontrarse en este

estado (Martín-Timón, 2015). Por este motivo, se parte de la base de que el ejercicio físico afectará de manera similar a ambos grupos, pudiendo utilizar al grupo sin HD como referencia para definir los efectos en el grupo que sufre HD.

Además, se realizará una propuesta de entrenamiento buscando mejorar tanto la fuerza como la capacidad aeróbica de adultos jóvenes con DMT1 que no realicen ejercicio físico de manera habitual y que sufren HD, tratando de determinar, de acuerdo con los resultados que se obtengan en la primera parte del trabajo, el tipo de entrenamiento que produzca una menor variación en la glucemia, reduciendo el riesgo de sufrir una hipoglucemia y mejorando el control glucémico.

Por otro lado, al tratarse de adultos jóvenes que no disponen de excesivo tiempo (Gómez-López, Granero Gallegos, y Baena Extremera, 2010), se buscará el método más breve para conseguir estos objetivos.

3. Ejercicio físico y Diabetes

Está claro que la diabetes no tiene por qué detener a las personas de competir al más alto nivel. Sin embargo, sí que añade algo de complejidad al entrenamiento y a la competición (Wood y Peters, 2018).

El objetivo del sujeto con DMT1 durante la realización de ejercicio físico es mantener su glucemia en valores normales sin correr un gran riesgo de sufrir una hipoglucemia, pero sin estar constantemente en una hiperglucemia (Cockcroft, Narendran, y Andrews, 2019).

3.1. ¿Por qué se recomienda el Ejercicio Físico en sujetos con DMT1?

Al igual que las personas sin DMT1 se benefician en multitud de aspectos del ejercicio físico (Haskell et al., 2007), los sujetos con DMT1 también se aprovechan de estas ventajas (Chimen et al., 2012).

Una investigación analizando un programa de ejercicio físico controlado enumeró los beneficios de éste en las personas con DMT1, los

cuales eran tanto aspectos en la condición física (mejoras en el VO₂máx), como en aspectos de la salud (menor resistencia a la insulina, que se asocia con una reducción de problemas macro y micro vasculares; mejora del perfil lipídico, reducción de peso, reducción del riesgo cardiovascular, así como mejoras en el bienestar y la densidad ósea) (Chimen et al., 2012). Sin embargo, aspectos como un menor riesgo de sufrir cáncer o la reducción en la tensión arterial no están del todo claros.

Aunque la realización de actividad física más intensa no se ha asociado a un mejor control glucémico (Dubé, Prud'homme, Lemieux, Lavoie, y Weisnagel, 2014), las personas más activas sí presentaron un mejor control glucémico que las sedentarias y un menor riesgo de padecer patologías asociadas a la diabetes como la microalbuminuria (Bohn et al., 2015) y la retinopatía (Bohn et al., 2015; Tikkanen-Dolenc et al., 2019).

Además de los progresos en la condición física, también se han demostrado mejoras en la atención, una reducción de estrés y de problemas conductuales en personas con DMT1 al realizar un programa de ejercicio físico (Suh et al., 2019).

3.2. Recomendaciones en la actualidad

Las recomendaciones de actividad física que establece la ADA para la realización de una persona adulta con DMT1 son: mínimo 150 minutos/semana de actividad aeróbica moderada o intensa, incluyendo además dos días de fuerza semanales (Wood y Peters, 2018). Estas indicaciones son muy similares a las de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) para la población general, que además añade la opción de realizar 75 minutos/semana de ejercicio aeróbico intenso en lugar de los 150 minutos/semana, y 300 minutos/semana de aeróbico moderado si se buscan mayores beneficios.

El miedo a la hipoglucemia ya mencionado como principal barrera para la realización de ejercicio físico (Brazeau et al., 2008) puede que nazca de las vagas indicaciones que existen para el control de la glucemia en personas con DMT1 a la hora de realizar ejercicio físico. De hecho, en un atlas publicado por la FID (2015), se identifica la inactividad física como una de las

causas principales del desarrollo de DMT2 y como un hábito de los estilos de vida modernos. Sin embargo, en este manual de la FID (2015), cuya misión es “promover la prevención, el tratamiento y la cura de la diabetes en todo el mundo” (p.8) no se dan recomendaciones ni pautas de ejercicio físico ni de actividad física.

Las recomendaciones de la ADA (s. f.) actualmente son:

- **Ingerir 15 gramos CH si la glucemia previa al ejercicio es inferior a 100mg/dl.**
- **Si la glucemia está bajando, ingerir carbohidratos previamente al ejercicio.**
- **Si se utiliza bomba, se pueden ingerir alimentos con carbohidratos o reducir la insulina basal.**
- **No realizar actividad física si la glucemia es alta y hay cuerpos cetónicos.**
- **Llevar un control especial si la glucemia es alta y no hay cuerpos cetónicos.**
- **Siempre llevar snacks de carbohidratos rápidos por si los niños comienzan a realizar actividad física de forma inesperada.**

En un libro publicado en colaboración con la ADA (Colberg y ADA, 2018) se indica que lo ideal es comenzar a realizar actividad física con una glucemia entre 120mg/dl y 180mg/dl, buscando rendir al máximo. Se indica que si ha habido una hipoglucemia previa en las 24h anteriores el cuerpo no responderá con normalidad al ejercicio físico y es probable que se produzca otra hipoglucemia.

Hasta hace relativamente poco tiempo no existía una diferenciación de las indicaciones con respecto al tipo de ejercicio, hasta 2015, año en el cual se establece una guía de las modificaciones que se deben hacer según la intensidad del ejercicio, pero solamente para los usuarios de bomba, los cuales pueden modificar su insulina basal para un periodo concreto del día (Gargallo-Fernández et al., 2015). Alrededor de un 60% de los pacientes con DMT1 utilizan bomba (Apablaza, Soto, Román, y Codner, 2016), por lo que casi la mitad de los sujetos con DMT1 no tienen unas indicaciones precisas de

cómo ajustar su insulina durante el ejercicio sin comprometer el resto de controles del día.

Lo único que hay claro es que al realizar ejercicio físico la glucemia desciende por un aumento de la demanda de glucosa y de la sensibilidad a la insulina (Ertl y Davis, 2004). De acuerdo con esto, la única manera de evitar sufrir una hipoglucemia, parece ser reducir la insulina de manera significativa e ingerir más carbohidratos, tanto previos como después del ejercicio físico (Campbell, Walker, et al., 2015).

3.3. La hipoglucemia

Siendo la hipoglucemia el principal factor por el que las personas con DMT1 no realizan suficiente ejercicio físico, debemos entender por qué ocurre este fenómeno en el cuerpo.

Para que descienda la glucemia, la glucosa que se encuentra en la sangre debe entrar en las células para ser almacenada o utilizada. Esto ocurre cuando los transportadores GLUT-4 de las células son estimulados, lo cual sucede principalmente cuando actúa la insulina y cuando se da una contracción muscular (aparte de por estimulación eléctrica o hipoxia) (Alabr y Cla, 2002).

En una persona sin DMT1, la producción de insulina desciende al realizar ejercicio aeróbico, aumentando la glucogenolisis y la gluconeogénesis. En un sujeto con DMT1, la insulina aplicada sigue actuando y no desciende, algo que evita que las hormonas contrarreguladoras realicen su función de promover la liberación de glucosa por parte del hígado. Al existir insulina que circula, se retrasa la lipólisis y la principal ruta metabólica es la de la oxidación de la glucosa, produciendo una caída en su concentración (Riddell et al., 2017).

Para conseguir un buen control glucémico durante el ejercicio, hay que alcanzar un equilibrio entre tres variables: oxidación de glucosa, acción de insulina y glucosa ingerida. La glucemia varía de manera diferente según el individuo y el tipo de ejercicio, por eso las recomendaciones no pueden ser algo cerrado (Riddell et al., 2017).

3.4. Problemas del sujeto con DMT1

La persona con DMT1 puede encontrar diversos problemas o cometer diferentes errores a la hora de intentar mantener su glucemia estable durante y después del ejercicio físico. Los problemas con más relevancia son:

- **Una ingesta excesiva de carbohidratos para evitar la hipoglucemia (Cockcroft et al., 2019), la cual puede ocurrir previo o posterior al ejercicio. Esta ingesta excesiva puede resultar en que no mejoren o incluso empeoren los controles glucémicos (Chimen et al., 2012).**
- **El papel de las hormonas contrarreguladoras durante y después del ejercicio juega un papel fundamental en el control de la glucemia. Al terminar el ejercicio físico, una persona sin DMT1 produce insulina nuevamente para compensar el papel de las catecolaminas que se liberan durante el ejercicio físico (Fahey et al., 2012; García-García, Kumareswaran, Hovorka, y Hernando, 2015). Además, la sensibilidad a la insulina después del ejercicio se encuentra incrementada de 24h a 36h , por lo que el riesgo de sufrir una hipoglucemia aumenta no sólo durante el ejercicio físico, sino una vez terminado éste (Cockcroft et al., 2019).**
- **Los casos de hipoglucemias desapercibidas: Se ha observado que un 40% de los sujetos con DMT1 sufre alguna hipoglucemia sin síntomas, lo cual puede deberse a hipoglucemias frecuentes o graves o a un efecto insuficiente de las hormonas contrarreguladoras, aunque no existe una causa determinada por el momento (Martín-Timón, 2015).**

4. Variaciones de la glucemia en función del tipo de ejercicio físico

Las variaciones en la glucemia dependen principalmente de la función que realicen en ese momento las hormonas del cuerpo, lo cual también está ligado al tipo de ejercicio físico que se practique. En sujetos sin DMT1 que no habían ingerido nada en las horas previas, al terminar un test aeróbico se vio que la producción de insulina había descendido un 20% con respecto al inicio

de la prueba. Por otro lado, al realizar un test anaeróbico, la producción de insulina aumentó un 137% (Kindermann, Schnabel, Schmitt, y Biro, 1982).

4.1. Aeróbico

El ejercicio aeróbico, entendido como un ejercicio físico que se practica a niveles moderados durante periodos de tiempo extensos (Wikipedia la enciclopedia libre, s.f.-b), utiliza como fuente principal de combustible los glúcidos y los lípidos.

Se ha constatado que el ejercicio aeróbico a una intensidad mantenida disminuye la glucemia en todos los sujetos que estén siguiendo un tratamiento con insulina (Cockcroft et al., 2019). No importa que se realice a intensidades bajas (25%VO₂máx) o a intensidades más elevadas (75%VO₂máx), se producirá un descenso de la glucemia siempre y cuando haya insulina activa en el torrente sanguíneo (Rabasa-Lhoret, Bourque, Ducros, y Chiasson, 2001).

Independientemente de la ingesta previa de carbohidratos y de la glucemia inicial, el descenso de la glucemia a una intensidad determinada será similar (Dubé, Lavoie, y Weisnagel, 2012), aunque el hecho de tener una glucemia inicial más alta sí que protege contra una hipoglucemia por el hecho de partir con un valor inicial mayor.

Una investigación (García-García et al., 2015) se aventuró a dar un dato concreto del descenso de la glucemia durante el ejercicio aeróbico, siendo éste de 80mg/dl cada hora. Sin embargo, este estudio también sostiene que el descenso de la glucemia depende de más factores como la intensidad o la duración, por lo que el dato que aporta no tiene demasiado valor. Otros autores han enunciado que el descenso de la glucemia era mayor conforme aumentaba la intensidad y la duración del ejercicio aeróbico, por lo que la necesidad de insulina disminuye progresivamente según aumenta la intensidad del ejercicio aeróbico (Rabasa-Lhoret et al., 2001).

En el periodo posterior al ejercicio aeróbico, se produce un aumento en la glucemia (García-García et al., 2015), siendo esta subida inversamente proporcional a la cantidad de insulina aplicada previa al ejercicio (Rabasa-Lhoret et al., 2001). Por este motivo, una gran reducción de la insulina previa

al ejercicio aeróbico, producirá un incremento mayor de la glucemia post-ejercicio.

Los efectos del ejercicio físico no duran solo durante su desarrollo, sino que la sensibilidad a la insulina puede quedar aumentada hasta 36 horas después (Cockcroft et al., 2019). El hecho de reducir la insulina de acción rápida previa a realizar ejercicio aeróbico reduce el número de casos de hipoglucemia durante el ejercicio y en los momentos posteriores a éste. Sin embargo, es necesario reducir la insulina basal para evitar hipoglucemias nocturnas (Campbell, Walker, et al., 2015; Campbell, West, et al., 2015).

El descenso de la glucemia durante el ejercicio aeróbico lo podemos atribuir a una mayor utilización de la insulina que está en el cuerpo, ya que diferentes investigaciones en sujetos en ayunas y sin haberse administrado insulina ese día afirman que no se produce tal descenso de la glucemia. El ejercicio aeróbico en ayunas al 50% del VO₂máx no desciende la glucemia como sí lo hace al practicarlo después de desayunar (Yamanouchi et al., 2002), manteniéndose igual al realizarlo en ayunas que un día control que se estuvo en reposo (Scott, Cocks, et al., 2019).

4.1.1. Aeróbico con intervalos

Ha sido muy analizado el añadir intervalos cortos de pocos segundos de alta intensidad a un programa de ejercicio aeróbico continuado con el objetivo de reducir el decremento de la glucemia.

Comparando el ejercicio aeróbico continuado con aquel en el cual se incluyen periodos cortos a una intensidad alta, se ha comprobado que la probabilidad de sufrir una hipoglucemia es mayor en el entrenamiento sin intervalos, a pesar de que el consumo de oxígeno durante el entrenamiento sea similar (Iscoe y Riddell, 2011). De la mano con lo anterior, el descenso medio de la glucemia durante el entrenamiento continuado sin intervalos es mayor que el que tiene lugar al realizar los intervalos (Maran et al., 2010), por lo cual es más usual que se utilicen suplementos con carbohidratos en los entrenamientos continuos (Dubé et al., 2012).

Diversos autores han comprobado, al incluir intervalos breves de alta intensidad a un entrenamiento continuo y a pesar de aumentar la carga total

de trabajo, que el descenso en la glucemia media es menor, pudiéndose deber a un aumento en la secreción de catecolaminas (Dubé et al., 2012; Guelfi, Jones, y Fournier, 2005b).

Todos los estudios apuntan en una misma dirección, y concluyen que el incluir intervalos es más seguro que el no incluirlos si hablamos del riesgo de hipoglucemia durante el entrenamiento, combatiendo éstos intervalos los dos problemas del ejercicio aeróbico: la hipoglucemia si se comienza con una glucemia normal y la hiperglucemia previa para evitar esa hipoglucemia (Dubé et al., 2012).

Sin importar las diferencias que tienen lugar durante el ejercicio, justo al finalizar, el aumento de la glucemia es similar en los entrenamientos con y sin intervalos (Maran et al., 2010).

A pesar de los beneficios que nos puede proporcionar este tipo de estrategia durante el entrenamiento, el riesgo de sufrir una hipoglucemia nocturna aumenta al realizar un entrenamiento aeróbico con intervalos breves de alta intensidad (Iscoe y Riddell, 2011). La glucemia es más baja por la noche y el número de hipoglucemias es mayor, algo que puede deberse a que el músculo se encuentra depleto y las hormonas contrarreguladoras no pueden cumplir su función de aumentar la glucemia (Maran et al., 2010).

4.2. Anaeróbico

Todo ejercicio físico categorizado como "Anaeróbico", ya sea un HIIT, un Sprint o el trabajo de la Fuerza con cargas, estimula la liberación de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) de una manera muy superior a la que se induce mediante el ejercicio aeróbico (Kindermann et al., 1982). Estas dos hormonas provocan un proceso de glucogenolisis en el hígado y en los músculos aumentando así la glucemia (Wikipedia la enciclopedia libre, s. f.-a, s. f.-c).

Las consecuencias del ejercicio anaeróbico sobre la glucemia dependerán del tipo, de la duración, de la intensidad... Este tipo de ejercicio físico, no provoca un descenso de la glucemia en todos los sujetos. Algunas investigaciones sugieren que aumenta la glucemia, mientras que otras señalan a un descenso de ésta. El único punto en común de todas es que el

decremento de la glucemia con el ejercicio anaeróbico es menor que el que tiene lugar con el ejercicio aeróbico (Riddell et al., 2017).

4.2.1. Sprint

Un sprint de 10 segundos produce que se aminore el descenso de la glucemia o incluso se incremente. Esto se debe a un descenso en la tasa de desaparición de glucosa y no a un aumento en la tasa de aparición de glucosa, como se creía anteriormente. Realizar un sprint de 10 segundos previo al entrenamiento aeróbico parece ser una buena herramienta para reducir la oxidación de glucosa y evitar una hipoglucemia durante el ejercicio (Fahey et al., 2012). Independientemente de haber sufrido una hipoglucemia en las horas previas al ejercicio, el efecto protector del sprint parece ser similar durante el ejercicio con respecto a no haber sufrido dicha hipoglucemia (Davey et al., 2014).

Sin embargo, mientras unos autores mantienen que realizar un sprint de 10 segundos al finalizar el ejercicio aeróbico mantiene la glucemia más estable y reduce el riesgo de hipoglucemia (Fahey et al., 2012), otros desmienten que, aunque hasta entonces se hubiera creído que un sprint tal protegía durante las 2 horas posteriores, el realizarlo no tiene ningún efecto durante las 8 horas posteriores (Davey et al., 2013).

Aunque realizar un sprint de 10 segundos parece proteger ante el riesgo de sufrir una hipoglucemia durante el ejercicio, es conveniente tener en cuenta que si el músculo se encuentra depleto (por haber realizado trabajo previo de fuerza, sprints, falta de carbohidratos en la dieta...), no habrá glucógeno que sea liberado y pueda aumentar esa glucemia (Yardley y Sigal, 2015).

4.2.2. HIIT

El Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad (HIIT) consiste en intercalar periodos de ejercicio físico a una intensidad alta con periodos de recuperación a una intensidad baja o en reposo. Supone una alternativa más eficiente si hablamos de tiempo con respecto al ejercicio aeróbico continuado de moderada intensidad (Scott, Cocks, et al., 2019).

El entrenamiento tipo HIIT, a pesar de no tratarse de un entrenamiento aeróbico de larga duración, desciende la glucemia (Guelfi, Jones, y Fournier, 2005a). Sin embargo, nada tienen que ver las caídas en la glucemia que ocurren durante el ejercicio aeróbico continuado con respecto al que ocurren durante el HIIT, siendo las primeras mucho más severas que las segundas, más suaves y seguras (García-García et al., 2015). De hecho, se ha registrado un descenso hasta 4 veces menor durante un entrenamiento HIIT que el que ocurría durante un periodo de tiempo similar a una intensidad moderada y continuada (Campbell, West, et al., 2015). Es por ello que los sujetos con DMT1 suelen sentirse más cómodos realizando ese tipo de ejercicio debido a que sienten sus valores glucémicos más estables (Scott, Shepherd, Strauss, Wagenmakers, y Cocks, 2019).

El entrenamiento HIIT de bajo volumen ha reportado los mismos beneficios que el ejercicio moderado de larga duración en personas con DMT1, siendo el tiempo invertido en éste mucho menor, independientemente de que se aumente el número de series a lo largo del tiempo (Scott, Shepherd, et al., 2019).

Aunque este tipo de entrenamiento no produce grandes caídas en la glucemia hasta una hora después del entrenamiento (Scott, Shepherd, et al., 2019), sí que está asociado con un mayor riesgo de hipoglucemias nocturnas (Riddell et al., 2017), por lo que es recomendable reducir la insulina en las horas siguientes al ejercicio y no sólo inmediatamente después para evitar esas caídas en la glucemia durante la noche (Campbell, West, et al., 2015).

La variación entre la glucemia inicial y final dependerá en gran medida de la cantidad de insulina activa presente en el cuerpo, ya que las variaciones después de un entrenamiento HIIT en ayunas son mínimas tanto durante el ejercicio como durante las 24h posteriores (Scott, Cocks, et al., 2019). La reducción del riesgo de sufrir una hipoglucemia nocturna en este caso puede deberse a que se realiza una recarga de los depósitos de glucógeno durante el día.

4.2.3. Fuerza

El trabajo de fuerza es beneficioso para el público general por diversos factores, lo cual se extrapola a las personas con DMT1, afirmando que, llevando un buen control glucémico, se beneficiarán de unos resultados similares. A pesar de esto, no está claro si el control glucémico mejora con este tipo de entrenamiento, y mientras algunos autores sugieren que, en efecto, mejora el control glucémico, otros desmienten eso afirmando que el control es peor si se entrena la fuerza (Yardley, Sigal, Perkins, Riddell, y Kenny, 2013).

Aunque algunos autores hayan aportado un número exacto (47mg/dl cada hora) del descenso que produce en la glucemia el trabajo de fuerza (García-García et al., 2015), esto dependerá de muchas variables (intensidad relativa, número de series, número de repeticiones...). Lo que podemos tener claro es que el descenso será mayor cuanto mayor insulina activa exista en el cuerpo (McCarthy et al., 2019).

A día de hoy, no existe un consenso que acuerde, al contrario que ocurre con el ejercicio aeróbico, si el trabajo de fuerza desciende o no la glucemia en personas con DMT1. Mientras existen investigaciones que han afirmado que el trabajo con cargas desciende la glucemia (Toghi-Eshghi y Yardley, 2019; Yardley, Kenny, et al., 2013), otras han descrito cómo la glucemia aumenta levemente durante las dos primeras series del entrenamiento para mantenerse estable después (McCarthy et al., 2019). Sin embargo, las investigaciones que reportan aumentos en la glucemia presentan un descenso en la insulina previa aplicada.

Al compararlo con el ejercicio aeróbico, deja de haber dudas, y todas las líneas apuntan en una misma dirección: el trabajo de la fuerza no desciende la glucemia de una manera tan acentuada como sí lo hace el ejercicio aeróbico continuado (Yardley, Kenny, et al., 2013; Yardley, Sigal, et al., 2013).

Se ha visto que el trabajo de la fuerza a diferentes intensidades (40%, 60%, 80% del 1RM) no es algo determinante a la hora de mejorar el control glucémico ya que afectan de manera similar a la glucemia, causando todos

los tipos de entrenamiento con cargas un pequeño descenso de ésta (Silveira et al., 2014).

Si observamos las variaciones de la glucemia en los momentos posteriores al ejercicio podemos ver que según algunos autores, el trabajo de la fuerza no altera la sensibilidad a la insulina (García-García et al., 2015). La realización de ejercicio físico que utilice de manera prioritaria la vía anaeróbica láctica se asocia a un incremento de la glucemia post-ejercicio, lo cual, en teoría, debería proteger contra la hipoglucemia (McCarthy et al., 2019). Si bien es cierto que la glucemia desciende más lentamente en el trabajo con cargas, también se ha visto cómo aumenta a su vez más despacio en el periodo posterior al ejercicio (García-García et al., 2015).

A pesar de que algunos investigadores hayan expuesto que la glucemia sigue descendiendo una vez finalizado el trabajo de fuerza, sólo lo hace minutos después de haberlo terminado (Silveira et al., 2014). En líneas generales, se asocia una glucemia más estable tras el trabajo de fuerza que con el trabajo aeróbico (Yardley, Kenny, et al., 2013). Debido a esto y a pesar de las discrepancias, se suele recomendar no reducir la insulina después de haber realizado un entrenamiento de fuerza (McCarthy et al., 2019).

Al trabajar la fuerza con diferentes intensidades y un volumen similar, el aumento de la glucemia post-ejercicio no varió en gran medida en un tipo de entrenamiento con respecto de otros (McCarthy et al., 2019; Silveira et al., 2014).

Sin embargo, a pesar de que en la literatura científica se da por hecho que el trabajo de fuerza produce una hiperglucemia post-ejercicio en sujetos con DMT1, existe un riesgo mayor de sufrir una hipoglucemia en las horas posteriores, la cual puede haber sido producida por un incremento de la insulina para contrarrestar esa hiperglucemia o por no haber ingerido carbohidratos suficientes (McCarthy et al., 2019).

Durante la noche, la glucemia tras haber realizado un entrenamiento de fuerza es menor que la glucemia tras un entrenamiento aeróbico continuado, siendo mayor el riesgo de hipoglucemia. Esto puede deberse a que el trabajo de fuerza se asocia a con un incremento en la glucemia,

aumentando la insulina aplicada (Yardley, Kenny, et al., 2013). Por su parte, un descenso leve en la insulina basal mantiene un control más estable durante las 24 horas siguientes.

4.3. Entrenamiento concurrente

Se conoce como entrenamiento concurrente a aquellos programas de ejercicio que incluyen el trabajo de la fuerza (buscando hipertrofia, potencia, fuerza...) y el ejercicio aeróbico (tratando de aumentar la resistencia aeróbica)(Wilson et al., 2012).

La mayoría de estudios analizan los efectos de un solo tipo de entrenamiento en la glucemia, habiendo una gran carencia de datos con respecto a un entrenamiento con dos tipos de ejercicio físico diferentes. Aunque hay estudios que investigan los efectos del trabajo de fuerza y la capacidad aeróbica en la misma sesión, no trabajan de manera global uno de los dos aspectos (Suh et al., 2019). Sin embargo, otras investigaciones más completas nos pueden proporcionar información relevante sobre entrenamientos de este tipo.

El realizar trabajo de fuerza justo antes del trabajo aeróbico o hacerlo justamente al revés afectará de manera diferente a la glucemia. Al realizar un entrenamiento de fuerza previo al aeróbico, se mantiene la glucemia durante la primera parte del entrenamiento (habiendo reducido la insulina previa). El trabajo anaeróbico estimula la secreción de hormonas como la hormona de crecimiento (GH), que promueve la lipólisis y el uso de ácidos grasos como principal combustible. Esto produce que, durante el trabajo aeróbico posterior, no descienda de manera tan brusca la glucemia. Por otro lado, el realizar el trabajo aeróbico al comienzo de la sesión, produce un descenso en la glucemia bastante brusco, el cual es compensado con un ligero incremento durante la fase de fuerza en la segunda parte del entrenamiento, siendo el entrenamiento de este tipo más arriesgado para las personas con DMT1 (Yardley et al., 2012).

El entrenamiento concurrente, independientemente del orden de los ejercicios, produce un descenso medio de la glucemia con respecto a un día en reposo. A pesar de esto, el trabajo de fuerza en primer lugar parece tener

un riesgo menor de provocar hipoglucemias nocturnas que el organizar la sesión de manera inversa (Yardley et al., 2012).

5. Conclusiones

El ejercicio físico, independientemente del tipo, produce un descenso en la glucemia de la persona con DMT1, y para contrarrestar ese descenso se deberá reducir la insulina o ingerir carbohidratos extra que compensen ese gasto. El efecto del ejercicio físico desde el momento de su finalización hasta varias horas después dependerá en gran medida del tipo de ejercicio que se realice.

Los principales resultados que podemos obtener de este trabajo son las siguientes:

- El ejercicio aeróbico continuado, aumenta la sensibilidad a la insulina tanto durante como tras su fin. El descenso que produce es considerable, pero a su vez provoca un aumento de la glucemia tras su realización que puede durar horas (García-García et al., 2015).**
- Realizar intervalos de alta intensidad durante el ejercicio aeróbico continuado parece mitigar el descenso de la glucemia, aunque aumenta el riesgo de sufrir una hipoglucemia en las horas posteriores (Iscoe y Riddell, 2011).**
- El efecto de un sprint antes del entrenamiento aeróbico continuado parece reducir el descenso en la glucemia durante éste (Fahey et al., 2012), aunque no produce beneficios el realizarlo al final del entrenamiento (Davey et al., 2013).**
- El entrenamiento HIIT, en concreto el de bajo volumen, parece ser una mejor opción que el entrenamiento aeróbico continuado para personas con DMT1 por mantener los niveles de glucosa estables durante el entrenamiento y por su menor duración, reportando los mismos beneficios. Sin embargo, aumenta el riesgo de hipoglucemia en las horas posteriores al entrenamiento (Scott, Shepherd, et al., 2019).**

- **El trabajo de fuerza parece descender algo la glucemia a no ser que se modifique la insulina previa (Yardley, Kenny, et al., 2013). Variar la intensidad de las cargas no modificará la respuesta glucémica ni durante ni después del entrenamiento (Silveira et al., 2014). Al trabajar la fuerza se debe tener en cuenta el aumento de la glucemia justo después de su finalización y el descenso de esta en las horas posteriores (McCarthy et al., 2019).**

A pesar de que hay aspectos que han sido clarificados, es imposible aportar unos datos genéricos para la realización de ejercicio físico, debiendo ser los ajustes que se realicen individualizados para cada sujeto con DMT1. Por un lado, no sabemos con claridad si la hiperglucemia posterior asociada al ejercicio físico es producida por la respuesta hormonal del cuerpo o por una reducción voluntaria de insulina de los sujetos intentando evitar una hipoglucemia. Tampoco es conocido el motivo de la hipoglucemia tardía en el trabajo de fuerza, en el HIIT o en el trabajo aeróbico con intervalos: no está claro si se debe a una dosis elevada de insulina, a una ingesta insuficiente de carbohidratos o a una depleción del músculo.

Por otro lado, las recomendaciones que existen y que llevaban todos los protocolos a cabo se basan en reducir la insulina basal un 10% durante todo el día (en el caso de las plumas) o un 50% durante el ejercicio físico (los sujetos con bomba infusora). Esta reducción no sabemos cómo afecta al rendimiento, y aunque en este trabajo ese dato no es algo crucial, sería conveniente tenerlo en cuenta para poder diseñar el entrenamiento buscando una eficacia mayor.

Los datos obtenidos han sido registrados en grupos que no presentan HD, y aunque ya ha sido explicado que los efectos del ejercicio físico serán similares, esta suposición no sabemos si se cumplirá en todos los casos. Conforme exista más evidencia respecto a grupos con HD, las indicaciones podrán ser más precisas y más seguras para este tipo de pacientes.

Cabe destacar la falta de datos con respecto al entrenamiento de fuerza a bajas repeticiones (5 o menos), que, a pesar de no ser algo

determinante en este trabajo por el grupo para el que va dedicado, no hay investigaciones que registren las variaciones de la glucemia con este tipo de entrenamiento.

6. Propuesta práctica

El nivel de actividad física de los jóvenes se ve reducido considerablemente al llegar a la edad adulta, en la época universitaria, algo que ha sido demostrado tanto si se analiza a varios grupos en un momento determinado (Cocca, Liukkonen, Mayorga-Vega, y Viciano-Ramírez, 2014), como si se estudia la evolución de un grupo (Zimmermann-Sloutskis, Wanner, Zimmermann, y Martin, 2010). Esta disminución está asociada en la población general a la falta de tiempo (Gómez-López et al., 2010). Por su parte, la DMT1 es una condición que no debería afectar a la vida del individuo (Wood y Peters, 2018), por lo que el comportamiento de estos sujetos suponemos que será similar al de la población general.

Se ha visto que la barrera principal que sufren las personas con DMT1 a la hora de realizar ejercicio físico es el miedo a la hipoglucemia (Brazeau et al., 2008). Además, una cantidad considerable de los sujetos con DMT1 (un 40%) ha sufrido alguna HD (Martín-Timón, 2015), motivos por los cuales es entendible el descenso en el nivel de actividad física.

Por estos motivos se ha diseñado una sesión de entrenamiento cuyo objetivo principal es conseguir que este grupo de adultos jóvenes con DMT1 y que sufren HD que no realizan actividad física de manera habitual se acostumbren a realizar ejercicio físico sin sufrir hipoglucemias, para eliminar ese miedo a sufrir una mientras se ejercitan. Además, se busca mejorar la condición física global de estas personas sin utilizar demasiado de su tiempo, aunque las mejoras en el rendimiento no son el objetivo principal. El centro de esta propuesta es, como se ha explicado anteriormente, el habituarse a realizar ejercicio físico sin miedo a las hipoglucemias.

Esta propuesta se ha basado en las evidencias descritas en los apartados anteriores para grupos con DMT1 pero que no presentaban HD, por

lo que, aunque el comportamiento debería ser similar, la propuesta se basa en el paralelismo que existe entre esos dos grupos.

Con estos objetivos, se ha diseñado una sesión de entrenamiento concurrente dividido en dos bloques, el primero buscando aumentar la fuerza muscular con un trabajo con cargas, y el segundo buscando aumentar la capacidad aeróbica. La sesión se ha diseñado así buscando mejorar en ambos aspectos realizando todos los días de entrenamiento el mismo protocolo, de tal manera que la respuesta hormonal del sujeto será parecida durante y al terminar todos los entrenamientos (algo que no ocurriría si un día nos centrásemos sólo en la fuerza y otro día nos centrásemos sólo en el trabajo aeróbico (García-García et al., 2015)). Esto debería facilitar el control glucémico durante y después de la sesión, aumentando la seguridad de los sujetos de cara a realizar ejercicio físico al conocer de antemano cómo va a comportarse su glucemia durante el entrenamiento.

Si bien es posible extrapolar los resultados de este trabajo a otros grupos de edad con unas ligeras variaciones, el trabajo se ha enfocado en este grupo de edad por la gran caída en el nivel de actividad física que presenta esta etapa.

6.1. Fuerza

La mayoría de investigaciones estudian los efectos de la fuerza trabajando en diferentes ejercicios con el peso máximo con el que se pueden realizar 8 repeticiones (8RM) efectuando ese mismo número de repeticiones (García-García et al., 2015). Sin embargo, otras investigaciones han afirmado que siempre y cuando el entrenamiento no se base en un número de repeticiones muy elevado, la variación de la glucemia será similar (Silveira et al., 2014).

En sujetos sin DMT1 se ha determinado que trabajar dejando de dos a cuatro repeticiones posibles sin realizar ($RIR=2-4$) es igual de efectivo en cuanto a ganancias de hipertrofia muscular en ejercicios multiarticulares. Además, esta estrategia evita el daño muscular excesivo y nos permite rendir de la misma manera en las series próximas (Helms, Cronin, Storey, y Zourdos, 2016).

Basándonos en estos datos y teniendo en cuenta que los sujetos no realizan ejercicio físico de manera habitual, se ha determinado que el número de repeticiones para realizar sea de 10, utilizando la fórmula de Brzycki (1993) para obtener el 12RM y trabajar con un RIR=2. Se realizarán 6 ejercicios trabajando los movimientos multiarticulares más básicos (press de pecho, jalón al pecho, press de pierna, press vertical, remo en polea y curl de isquios), descansando 90" entre cada serie, un protocolo similar al utilizado por Yardley et al. (2012).

La fórmula propuesta por Brzycki (1993) es:

$$1RM = \text{Peso levantado} / (1.0278 - 0.0278X)$$

(donde X es el número de repeticiones realizadas)

El primer día de ejercicio se destinará a determinar las cargas de entrenamiento, por lo que se realizará un calentamiento previo y a continuación los 6 ejercicios mencionados, buscando realizar el máximo número de repeticiones con una carga determinada para cada individuo y que este número se encuentre entre 9 y 15. Si el número se prevé que va a alejarse mucho de este rango, esa serie finalizará y se modificará la carga para que entre en el rango objetivo.

Una vez tengamos los datos, se estimará el 12RM con la fórmula anteriormente mencionada realizando el siguiente proceso:

Ejemplo A: se realizan 10 repeticiones con 40kg

$$1RM = 40 / (1.0278 - 0.0278 * 10) = 53.35\text{kg}$$

Ahora despejamos el peso levantado de la fórmula original

$$\text{Peso levantado} = 1RM * (1.0278 - 0.0278 * X)$$

Sabiendo el 1RM estimado y buscando calcular el peso para realizar 12 repeticiones obtenemos el siguiente resultado.

$$\text{Peso levantado} = 53.35 * (1.0278 - 0.0278 * 12) = 37\text{kg}$$

En este caso (Ejemplo A) trabajaríamos con 37 kg a 10 repeticiones dejando 2 repeticiones sin hacer en cada serie.

6.2. Capacidad aeróbica

Para trabajar la capacidad aeróbica, debemos tener en cuenta los dos principales problemas que surgen con este tipo de sujetos: el miedo a la hipoglucemia y la falta de tiempo (Riddell et al., 2017). Por estos dos motivos, el entrenamiento tipo HIIT se convierte en una herramienta óptima para solventar esos problemas.

En sujetos sin DMT1, en diferentes entrenamientos con un consumo de oxígeno (VO₂) similar, las mejoras más grandes en el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) se dieron con los entrenamientos interválicos, además de ser más breves (Helgerud et al., 2007).

Aunque no haya investigaciones de entrenamiento concurrente que trabajen con HIIT después de un bloque de fuerza en sujetos con DMT1, si existe alguno que trabaja un bloque de ejercicio aeróbico continuado después del bloque de fuerza (Yardley et al., 2012). En esta investigación el bloque de fuerza era más extenuante (RIR=0) que el propuesto en este trabajo (RIR=2), por lo que el bloque de HIIT no se realizará con el músculo depleto, y se espera que la respuesta hormonal sea similar a la que se da sin el trabajo de fuerza previo.

El protocolo que se utilizará será un HIIT de bajo volumen (Gibala, Little, Macdonald, y Hawley, 2012), consistente en intervalos de un minuto de carrera en cinta a una intensidad del 90% de la frecuencia cardíaca máxima (FCmáx), intercalados con intervalos de un minuto de recuperación.

Aunque el protocolo presentado por Gibala et al. (2012) consta de 10 series, se realizarán 7 series (14 minutos de duración) en cinta (similar al número de series utilizado por Scott et al. (2019)), siendo los descansos una recuperación activa caminando de manera muy suave.

El HIIT se realizará con un pulsómetro y la FCmáx de cada sujeto se estimará utilizando la siguiente fórmula (Tanaka, Monahan, y Seals, 2001):

$$FCmáx = 208 - 0.7 * Edad$$

De esta manera, la frecuencia cardíaca que se programará para los sujetos se determinará de la siguiente manera:

Ejemplo B: Un sujeto de 21 años

Calculamos su FCmáx:

$$\text{FCmáx} = 208 - 0.7 \cdot 21 = 193 \text{ pulsaciones por minuto}$$

Calculamos el 90% de su FCmáx:

$$\text{FCintervalos} = 193 \cdot 90/100 = 174 \text{ ppm}$$

De esta manera (Ejemplo B), el sujeto realizará los intervalos a una frecuencia cardíaca de 174ppm.

Para determinar la velocidad orientativa para que mantenga esa frecuencia cardíaca, el día que se realice la estimación de las cargas para el bloque de fuerza y tras su finalización, se realizará un test progresivo en cinta (aumentando la velocidad cada minuto) para definir a qué velocidad se alcanza esta frecuencia cardíaca, pudiendo modificarse esto en todo momento en la sesión para ajustarse a la FC objetivo.

6.3. Consideraciones

Aun buscándose el tipo de entrenamiento que afecte en menor medida a la glucemia, hemos visto que todos los tipos de entrenamiento producen un descenso de ésta. Por esta razón, y aunque el descenso no vaya a ser muy grande, es aconsejable reducir algo la dosis de insulina o ingerir algún alimento con unos pocos carbohidratos previo al ejercicio.

En los entrenamientos HIIT que se realizan en un periodo post-prandial y tras haber recibido una dosis de insulina, la glucemia desciende de manera considerable (Guelfi et al., 2005a). Sin embargo, si se realiza este entrenamiento en ayunas y sin insulina, este descenso no tiene lugar (Scott, Cocks, et al., 2019). Este fenómeno, ocurre de manera similar en los entrenamientos de fuerza (Toghi-Eshghi y Yardley, 2019). Debido a estos datos, sería recomendable que el sujeto no tuviese insulina de acción rápida aún activa en el organismo para evitar una caída de la glucemia mayor.

Si tenemos en cuenta la respuesta del organismo en las horas posteriores al ejercicio físico, ambos tipos de ejercicio, tanto el trabajo de fuerza (McCarthy et al., 2019) como el HIIT (Riddell et al., 2017), están

asociados con un incremento del riesgo de sufrir una hipoglucemia en este periodo, pudiendo darse a la noche. Es por esto, que aunque justo después del ejercicio el efecto de las hormonas contrarreguladoras pueda elevar la glucemia (McCarthy et al., 2019), es recomendable reducir la dosis de insulina en las horas posteriores al ejercicio y no limitar la ingesta de carbohidratos, ya que las hipoglucemias pueden ser mayores si las reservas de glucógeno están vacías (Maran et al., 2010).

6.4. Sesión de entrenamiento

6.4.1. Organización de la sesión

La duración de la sesión de entrenamiento es ligeramente superior a una hora. Para realizar este entrenamiento es necesario acudir a una instalación que cuente con una cinta para andar y correr y con las 6 máquinas necesarias para los ejercicios del bloque de fuerza (press de pecho, jalón al pecho, press de pierna, press vertical, remo en polea y curl de isquios).

Tanto el calentamiento como la vuelta a la calma se realizarán por sensaciones sin medir ningún parámetro, simplemente buscando una activación del organismo o una relajación de éste en un momento y otro.

El bloque de fuerza constará de 6 ejercicios, realizándose 3 series de 10 repeticiones en cada uno con el 12RM, descansándose 90" entre series.

En el HIIT se realizarán 7 series de un minuto al 90% de la FCmáx, intercalados con un minuto de descanso activo caminando suave (3-4km/h).

La plantilla de la sesión se encuentra en el ANEXO I.

6.4.2. Programa de entrenamiento basado en esta sesión

Si bien esta sesión está diseñada para un grupo de adultos jóvenes con DMT1 que sufren HD y no realizan actividad física de manera habitual, siempre habrá que ajustar el entrenamiento para cada individuo según los principios FITT-PV, siendo necesario adaptar cada una de las variables según las necesidades de cada sujeto. Estos datos se recopilarán en la entrevista inicial que se mantenga con el individuo, determinando sus propios objetivos y realizando las mediciones necesarias.

Si nos encontramos con una persona perteneciente al grupo ya descrito sin patologías añadidas, que busca realizar ejercicio físico sin hipoglucemias, podríamos utilizar la sesión definida como único tipo de sesión, con el objetivo de facilitar a este sujeto el control sobre su glucemia. Siempre teniendo en cuenta que habría que modificar las variables en función del individuo, éste sería un ejemplo de cómo implementar esta sesión en un programa de entrenamiento:

- **Frecuencia:** 3 veces por semana en días no consecutivos (buscando obtener beneficios pero que a su vez el sujeto sea capaz de recuperar entre sesiones) durante 12 semanas.
- **Intensidad:** Moderada-alta (como ya se ha descrito anteriormente mediante el RIR y el %FC).
- **Tiempo:** La sesión durará entre 65' y 71' dependiendo de la semana (≈3 series por grupo muscular para el bloque de fuerza (36') y entre 7' y 10' a alta intensidad en el HIIT).
- **Tipo:** Fuerza en máquinas e intervalos a alta intensidad en cinta.
- **Progresión:** Se aumentará el número de series en el HIIT de 7 a 10 a lo largo de las semanas siempre que el sujeto se encuentre dispuesto.
- **Variedad:** No se modificarán los ejercicios para asentar la técnica y poder ver con claridad las mejoras que se den. La variedad podría ser un punto clave a la hora de continuar trabajando con los mismos sujetos una vez terminado este programa (añadiendo ejercicios con peso libre que demandan un mayor control motor).

En este supuesto, y con el fin de conseguir mejoras durante todo el periodo de entrenamiento, habría que realizar un ajuste de las cargas y de la velocidad a la que se realiza el HIIT a lo largo de las semanas.

Para progresar adecuadamente en el bloque de fuerza, se realizaría una prueba al fallo como la explicada anteriormente (entre 9 y 15 repeticiones) para determinar el 12RM el primer día de las semanas 1, 4, 7 y 10. Al ser un sujeto que no está habituado a hacer ejercicio físico regular, suponemos que habría mejoras considerables ya en las primeras semanas.

Lo mismo se realizaría para determinar la velocidad durante el HIIT, realizándose el test progresivo en las semanas 1 y 7 tras el bloque de fuerza, pudiéndose realizar a su vez en las semanas 4 y 10 si fuera necesario. Sin embargo, durante las sesiones deberíamos ajustarnos a las pulsaciones objetivo durante el minuto de trabajo, por lo que si se debiera modificar ligeramente la velocidad se haría sin mayor problema.

Para la progresión del HIIT, se incrementaría el número de series hasta el propuesto por Gibala et al. (2012) de 10 series totales. Se realizaría de manera progresiva y teniendo siempre en cuenta las condiciones del sujeto.

Este programa podría ser representado de la siguiente manera:

| Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Ajuste de las cargas (Fuerza) | ✕ | | | ✕ | | | ✕ | | | ✕ | | |
| Ajuste de la velocidad (Aeróbico) | ✕ | | | ✕ | | | ✕ | | | ✕ | | |
| Nº series en HIIT | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 |

Además de estos aspectos, debería ser muy importante la comunicación con el sujeto en cuanto a sensaciones sobre el control de su glucemia. Al ser el objetivo principal el de conseguir que se realice ejercicio físico de manera segura sin hipoglucemias, sería conveniente que al comienzo del primer entrenamiento de la semana se mantuviera una pequeña charla sobre cómo se siente el individuo y cómo le están afectando las sesiones a su control glucémico. Debería tenerse en cuenta el estado físico y emocional del sujeto con respecto a las sesiones, pidiéndole además, por ejemplo, que puntuase del 1 al 10 sus sensaciones sobre los controles glucémicos tanto los días de ejercicio como los de descanso, midiendo cómo evolucionan éstas, con el fin de modificar las variables buscando adaptar y mejorar el entrenamiento si fuera necesario.

Más adelante, podría ser interesante, una vez finalizado este periodo, realizar un programa con el objetivo principal de aumentar la fuerza y la capacidad aeróbica, evaluando estos progresos, cuando los sujetos se sientan capaces de realizar ejercicio físico sin el miedo a sufrir una hipoglucemia.

7. Aspectos metodológicos y teóricos a tener en cuenta

Aunque el grupo de sujetos que sufre HD debería sufrir las mismas variaciones que aquellos sin HD, al no haber un consenso con respecto a sus causas o efectos, es imposible determinar si en ambos casos la respuesta fisiológica será igual. Estas indicaciones deberán ser ajustadas conforme aumente la evidencia científica en grupos con HD (Martín-Timón, 2015).

La mayoría de investigaciones (salvo una llevada a cabo por Yardley et al. (2012)) analizan a sujetos realizando un tipo de entrenamiento en cada sesión, bien sea aeróbico, interválico, de fuerza... Viendo que cada programa de ejercicio físico afecta de manera diferente a la glucemia en sujetos con DMT1, podemos hacer suposiciones de cómo afectará el que se ha propuesto basándonos en investigaciones parecidas, aunque sin ningún respaldo científico ya que no se ha analizado un programa similar en estudios previos. Sin embargo, se ha expuesto que el entrenamiento de fuerza previo al aeróbico estimula una mayor oxidación de ácidos grasos durante el segundo bloque (Yardley et al., 2012), por lo que podemos prever que durante el segundo bloque de nuestro entrenamiento no descenderá en exceso esta glucemia.

La idea de este trabajo es proponer una sesión de entrenamiento que proporcione mejoras globales a sujetos que no realicen actividad física de manera habitual, buscando reducir lo máximo posible el riesgo de hipoglucemia, razón por la cual se ha escogido el trabajo de fuerza y el HIIT. Debido a la ausencia de investigaciones trabajando ambos apartados en la misma sesión, no es posible asegurar cómo variará la glucemia ni durante el

ejercicio ni en las horas posteriores, aunque supuestamente descenderá levemente durante el entrenamiento, manteniéndose estable en los momentos posteriores (aumentando o disminuyendo ligeramente dependiendo del sujeto (Yardley, Kenny, et al., 2013)). En las horas posteriores se encuentra el momento de mayor riesgo para sufrir una hipoglucemia, pudiendo deberse a no reducir la insulina de manera correcta o a una ingesta insuficiente de carbohidratos tras el entrenamiento.

Con la idea de reducir el tiempo de entrenamiento y de conseguir ganancias en ambas capacidades, se ha seleccionado el entrenamiento concurrente, que, si bien no es lo óptimo cuando se buscan ganancias en potencia o fuerza máxima (Wilson et al., 2012), proporciona mejoras en estas dos capacidades físicas. Con este tipo de entrenamiento se ha buscado que la glucemia varíe de manera similar en todas las sesiones (sensibilidad a la insulina, hormonas contrarreguladoras...), algo que no ocurriría si se diferencian sesiones trabajando fuerza y sesiones trabajando la capacidad aeróbica por separado.

Buscando una mejora de los controles glucémicos, el empleo de tecnologías como el monitoreo continuo de glucosa subcutánea (CGM) es una herramienta muy interesante que, a pesar de sus costes, ayuda a conocer la glucemia en cualquier momento de manera más rápida y cómoda, pudiendo adaptar las medidas que tomar para evitar tanto una hiperglucemia como una hipoglucemia (Apablaza et al., 2016).

7.1. Limitaciones de la propuesta

Debido a que los sujetos pueden estar acostumbrados a descensos considerables en su glucemia al practicar ejercicio aeróbico, es posible que se realicen ingestas excesivas de carbohidratos previas al ejercicio o bajadas de insulina extremas para evitar la hipoglucemia.

Este tipo de entrenamiento está centrado en no descender la glucemia en gran medida, por lo que estos hábitos mencionados pueden causar una hiperglucemia durante y post-ejercicio.

Por otro lado, este entrenamiento puede provocar hipoglucemias en las horas posteriores, por lo que se recomienda ingerir carbohidratos


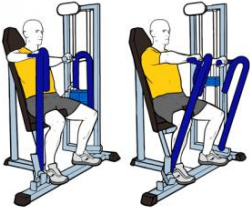
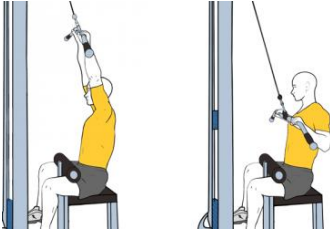
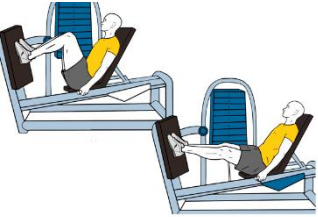
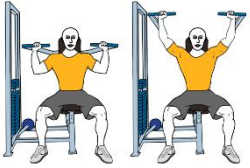
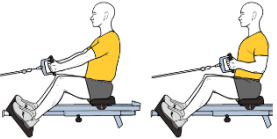
suficientes para reponer los depósitos de glucógeno y reducir algo la insulina, aunque esto debería ser una medida interprofesional con el personal sanitario responsable de su seguimiento.

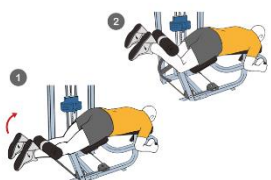


Como ya ha sido mencionado antes, nunca se han estudiado los efectos en la glucemia de las personas con DMT1 del entrenamiento HIIT tras un entrenamiento de fuerza. Por este motivo, las suposiciones realizadas pueden no adecuarse a lo que ocurra en la realidad.

Por estas razones sería conveniente analizar meticulosamente las variaciones en la glucemia durante este tipo de entrenamiento para determinar si es más seguro, o no, que otros tipos de entrenamiento para evitar la hipoglucemia en sujetos con DMT1.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO I

| SESIÓN DE ENTRENAMIENTO | | | |
|-------------------------|--|--|------------|
| | Definición | Representación gráfica | Duración |
| Calentamiento | | | |
| | Caminar en cinta |  | 10' |
| Parte principal | | | |
| | Fuerza <ul style="list-style-type: none"> ○ Press de pecho (3x10) |  | 6' |
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Jalon al pecho (3x10) |  | 6' |
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Press de pierna (3x10) |  | 6' |
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Press vertical (3x10) |  | 6' |
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Remo en polea (3x10) |  | 6' |

| | | | |
|--------------------------|---|---|------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Curl de isquios (3x10) |  | 6' |
| | <p>HIIT</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 7x (1' 90%FCmáx/ 1' descanso) |  | 14' |
| Vuelta a la calma | | | |
| | Caminar en cinta |  | 5' |

9. Referencias bibliográficas

- ADA. (s. f.). *Exercise and Type 1* | ADA. Recuperado 10 de abril de 2020, de <https://www.diabetes.org/fitness/get-and-stay-fit/exercise-and-type-1>
- Alabr, P., y Cla, A. S. (2002). ¿Cómo se transporta la glucosa a través de la membrana celular? *Iatreia*, 15(3), 179-189.
- Apablaza, P., Soto, N., Román, R., y Codner, E. (2016). Nuevas Tecnologías En Diabetes. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(2), 213-226. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.04.011>
- Bohn, B., Herbst, A., Pfeifer, M., Krakow, D., Zimny, S., Kopp, F., Melmer, A., Steinacker, J. M., y Holl, R. W. (2015). Impact of physical activity on glycemic control and prevalence of cardiovascular risk factors in adults with type 1 diabetes: A cross-sectional multicenter study of 18,028 patients. *Diabetes Care*, 38(8), 1536-1543. <https://doi.org/10.2337/dc15-0030>
- Brazeau, A. S., Rabasa-Lhoret, R., Strychar, I., y Mircescu, H. (2008). Barriers to physical activity among patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 31(11), 2108-2109. <https://doi.org/10.2337/dc08-0720>
- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation y Dance*, 64(1), 88-90. <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
- Campbell, M. D., Walker, M., Bracken, R. M., Turner, D., Stevenson, E. J., Gonzalez, J. T., Shaw, J. A., y West, D. J. (2015). Insulin therapy and dietary adjustments to normalize glycemia and prevent nocturnal hypoglycemia after evening exercise in type 1 diabetes: A randomized controlled trial. *BMJ Open Diabetes Research and Care*, 3(1). <https://doi.org/10.1136/bmjdr-2015-000085>
- Campbell, M. D., West, D. J., Bain, S. C., Kingsley, M. I. C., Foley, P., Kilduff, L., Turner, D., Gray, B., Stephens, J. W., y Bracken, R. M. (2015). Simulated games activity vs continuous running exercise: A novel comparison of the glycemic and metabolic responses in T1DM patients. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(2), 216-222.

<https://doi.org/10.1111/sms.12192>

Caspersen, C. J., Powell, K. E., y Christenson, G. M. (1985). Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports (1974-)*, *100*(2), 126-131. <http://www.jstor.org/stable/20056429>

Chimen, M., Kennedy, A., Nirantharakumar, K., Pang, T. T., Andrews, R., y Narendran, P. (2012). What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review. *Diabetologia*, *55*(3), 542-551. <https://doi.org/10.1007/s00125-011-2403-2>

Cocca, A., Liukkonen, J., Mayorga-Vega, D., y Viciano-Ramírez, J. (2014). Health-related physical activity levels in Spanish youth and young adults. *Perceptual and Motor Skills*, *118*(1), 247-260. <https://doi.org/10.2466/10.06.PMS.118k16w1>

Cockcroft, E. J., Narendran, P., y Andrews, R. C. (2019). Exercise-induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Experimental Physiology*. <https://doi.org/10.1113/EP088219>

Colberg, S. R., y ADA. (2018). *Diabetes and Keeping Fit For Dummies (For Dummie)*. Learning Made Easy. <https://books.google.es/books?id=8d5HDwAAQBAJyprintsec=frontcoverydq=diabetes+and+keeping+fit+for+dummiesyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwidm-3CuaHoAhVL8uAKHSIkA10Q6AEILDAA#v=onepageyq=diabetes and keeping fit for dummiesyf=false>

Davey, R. J., Bussau, V. A., Paramalingam, N., Ferreira, L. D., Lim, E. M., Davis, E. A., Jones, T. W., y Fournier, P. A. (2013). A 10-s sprint performed after moderate-intensity exercise neither increases nor decreases the glucose requirement to prevent late-onset hypoglycemia in individuals with type1 diabetes. *Diabetes Care*, *36*(12), 4163-4165. <https://doi.org/10.2337/dc12-2198>

Davey, R. J., Paramalingam, N., Retterath, A. J., Lim, E. M., Davis, E. A., Jones, T. W., y Fournier, P. A. (2014). Antecedent hypoglycaemia does not

- diminish the glycaemia-increasing effect and glucoregulatory responses of a 10 s sprint in people with type 1 diabetes. *Diabetologia*, 57(6), 1111-1118. <https://doi.org/10.1007/s00125-014-3218-8>
- Dubé, M. C., Lavoie, C., y Weisnagel, S. J. (2012). Glucose or Intermittent High-Intensity Exercise in Glargine/Glulisine Users with T1DM. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 142-152. <https://doi.org/10.1249/MSS.ObO>
- Dubé, M. C., Prud'homme, D., Lemieux, S., Lavoie, C., y Weisnagel, S. J. (2014). Relation between energy intake and glycemic control in physically active young adults with type 1 diabetes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 47-50. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.01.009>
- Ertl, A. C., y Davis, S. N. (2004). Evidence for a vicious cycle of exercise and hypoglycemia in type 1 diabetes mellitus. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 20(2), 124-130. <https://doi.org/10.1002/dmrr.450>
- Fahey, A. J., Paramalingam, N., Davey, R. J., Davis, E. A., Jones, T. W., y Fournier, P. A. (2012). The effect of a short sprint on postexercise whole-body glucose production and utilization rates in individuals with type 1 diabetes mellitus. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 97(11), 4193-4200. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-1604>
- FID. (2015). *ATLAS de la DIABETES de la FID*. Federación Internacional de la Diabetes.
- García-García, F., Kumareswaran, K., Hovorka, R., y Hernando, M. E. (2015). Quantifying the Acute Changes in Glucose with Exercise in Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 45(4), 587-599. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0302-2>
- Gargallo-Fernández, M., Escalada San Martín, J., Gómez-Peralta, F., Rozas Moreno, P., Marco Martínez, A., Botella-Serrano, M., Tejera Pérez, C., y López Fernández, J. (2015). Clinical recommendations for sport practice in diabetic patients (RECORD Guide). Diabetes Mellitus Working Group of the Spanish Society of Endocrinology and Nutrition (SEEN).

Endocrinología y Nutrición, 62(6), e73-e93.
<https://doi.org/10.1016/j.endonu.2015.02.004>

Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., y Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *Journal of Physiology*, 590(5), 1077-1084. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>

Gómez-López, M., Granero Gallegos, A., y Baena Extremera, A. (2010). Perceived barriers by university students in the practice of physical activities. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(3), 374-381.

Guelfi, K. J., Jones, T. W., y Fournier, P. A. (2005a). Intermittent high-intensity exercise does not increase the risk of early postexercise hypoglycemia in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 28(2), 416-418 3p. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=c8hyAN=106495574&lang=jaysite=ehost-live>

Guelfi, K. J., Jones, T. W., y Fournier, P. A. (2005b). The decline in blood glucose levels is less with intermittent high-intensity compared with moderate exercise in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 28(6), 1289-1294. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.6.1289>

Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D., y Bauman, A. (2007). Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 39(8), 1423-1434. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616b27>

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., y Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve V O₂max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665-671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>

Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., y Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for

Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 42-49.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000218>

Iscoe, K. E., y Riddell, M. C. (2011). Continuous moderate-intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: Effects on acute and late glycaemia in athletes with Type1 diabetes mellitus. *Diabetic Medicine*, 28(7), 824-832. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2011.03274.x>

Kennedy, A., Narendran, P., Andrews, R. C., Daley, A., y Greenfield, S. M. (2018). Attitudes and barriers to exercise in adults with a recent diagnosis of type 1 diabetes: A qualitative study of participants in the Exercise for Type 1 Diabetes (EXTOD) study. *BMJ Open*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-017813>

Kindermann, W., Schnabel, A., Schmitt, W. M., y Biro, G. (1982). Catecholamines, Growth Hormone, Cortisol, Insulin, and Sex Hormones in Anaerobic and Aerobic Exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49, 389-399.

López Chicharro, J., y López Mojares, L. M. (2009). *Fisiología clínica del ejercicio*. Editorial Médica Panamericana. https://books.google.es/books?hl=esylr=yid=eSUEpbNRt7gCyoifndypg=PR5ydq=vias+metabolicas+fisiologia+del+ejercicioyots=VuZ3QFZkrFysig=kDgiYv7XPk5SDVgZjy9NJa_h2Co#v=onepageyqyf=false

Maran, A., Pavan, P., Bonsembiante, B., Brugin, E., Ermolao, A., Avogaro, A., y Zaccaria, M. (2010). Continuous glucose monitoring reveals delayed nocturnal hypoglycemia after intermittent high-intensity exercise in nontrained patients with type 1 diabetes. *Diabetes Technology and Therapeutics*, 12(10), 763-768. <https://doi.org/10.1089/dia.2010.0038>

Martín-Timón, I. (2015). Mechanisms of hypoglycemia unawareness and implications in diabetic patients. *World Journal of Diabetes*, 6(7), 912. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i7.912>

McCarthy, O., Moser, O., Eckstein, M. L., Deere, R., Bain, S. C., Pitt, J., y Bracken, R. M. (2019). Resistance Isn't Futile: The Physiological Basis of the Health

- Effects of Resistance Exercise in Individuals With Type 1 Diabetes. *Frontiers in Endocrinology*, 10(August), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00507>**
- OMS. (2018). *Actividad física*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>**
- Rabasa-Lhoret, R., Bourque, J., Ducros, F., y Chiasson, J. L. (2001). Guidelines for premeal insulin dose reduction for postprandial exercise of different intensities and durations in type 1 diabetic subjects treated intensively with a basal-bolus insulin regimen (ultralente-lispro). *Diabetes Care*, 24(4), 625-630. <https://doi.org/10.2337/diacare.24.4.625>**
- Riddell, M. C., Gallen, I. W., Smart, C. E., Taplin, C. E., Adolfsson, P., Lumb, A. N., Kowalski, A., Rabasa-Lhoret, R., McCrimmon, R. J., Hume, C., Annan, F., Fournier, P. A., Graham, C., Bode, B., Galassetti, P., Jones, T. W., Millán, I. S., Heise, T., Peters, A. L., ... Laffel, L. M. (2017). Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, 5(5), 377-390. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30014-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30014-1)**
- Scott, S. N., Cocks, M., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Cuthbertson, D. J., Wagenmakers, A. J. M., y Shepherd, S. O. (2019). Fasted high-intensity interval and moderate-intensity exercise do not lead to detrimental 24-hour blood glucose profiles. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 104(1), 111-117. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-01308>**
- Scott, S. N., Shepherd, S. O., Strauss, J. A., Wagenmakers, A. J. M., y Cocks, M. (2019). Home-based high-intensity interval training reduces barriers to exercise in people with type 1 diabetes. *Experimental Physiology*. <https://doi.org/10.1113/EP088097>**
- Silveira, A. P. S., Bentes, C. M., Costa, P. B., Simão, R., Silva, F. C., Silva, R. P., y Novaes, J. S. (2014). Acute effects of different intensities of resistance training on glycemic fluctuations in patients with type 1 diabetes mellitus. *Research in Sports Medicine*, 22(1), 75-87.**

<https://doi.org/10.1080/15438627.2013.852096>

Suh, J., Choi, H. S., Kwon, A., Chae, H. W., Eom, S., y Kim, H. S. (2019). Once-weekly supervised combined training improves neurocognitive and psychobehavioral outcomes in young patients with type 1 diabetes mellitus. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 1-10. <https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0120>

Tanaka, H., Monahan, K. D., y Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)

Tikkanen-Dolenc, H., Wadén, J., Forsblom, C., Harjutsalo, V., Thorn, L. M., Saraheimo, M., Elonen, N., Hietala, K., Summanen, P., Tikkanen, H. O., y Groop, P. H. (2019). Frequent physical activity is associated with reduced risk of severe diabetic retinopathy in type 1 diabetes. *Acta Diabetologica*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00592-019-01454-y>

Toghi-Eshghi, S. R., y Yardley, J. E. (2019). Morning (Fasting) vs Afternoon Resistance Exercise in Individuals With Type 1 Diabetes: A Randomized Crossover Study. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 104(11), 5217-5224. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-02384>

Wikipedia la enciclopedia libre. (s. f.-a). *Adrenalina*. Recuperado 20 de marzo de 2020, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Adrenalina>

Wikipedia la enciclopedia libre. (s. f.-b). *Ejercicio aeróbico*. Recuperado 11 de abril de 2020, de https://es.wikipedia.org/wiki/Ejercicio_aeróbico

Wikipedia la enciclopedia libre. (s. f.-c). *Noradrenalina*. Recuperado 20 de marzo de 2020, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Noradrenalina>

Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., y Anderson, J. C. (2012). *Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises*. 26(8), 2293-2307.

Wood, J., y Peters, A. (2018). *The Type 1 Diabetes Self-care Manual* (Vol. 391, Número 10138). <https://doi.org/10.2337/9781580406208>

- Yamanouchi, K., Abe, R., Takeda, A., Atsumi, Y., Shichiri, M., y Sato, Y. (2002). The effect of walking before and after breakfast on blood glucose levels in patients with type 1 diabetes treated with intensive insulin therapy. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 58(1), 11-18. [https://doi.org/10.1016/S0168-8227\(02\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0168-8227(02)00099-2)**
- Yardley, J. E., Kenny, G. P., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Balaa, N., Malcolm, J., Boulay, P., Khandwala, F., y Sigal, R. J. (2013). Resistance versus aerobic exercise. *Diabetes Care*, 36(3), 537-542. <https://doi.org/10.2337/dc12-0963>**
- Yardley, J. E., Kenny, G. P., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Malcolm, J., Boulay, P., Khandwala, F., y Sigal, R. J. (2012). Effects of performing resistance exercise before versus after aerobic exercise on glycemia in type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 35(4), 669-675. <https://doi.org/10.2337/dc11-1844>**
- Yardley, J. E., y Sigal, R. J. (2015). Exercise strategies for hypoglycemia prevention in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Spectrum*, 28(1), 32-38. <https://doi.org/10.2337/diaspect.28.1.32>**
- Yardley, J. E., Sigal, R. J., Perkins, B. A., Riddell, M. C., y Kenny, G. P. (2013). Resistance exercise in type 1 diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 37(6), 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.07.020>**
- Zimmermann-Sloutskis, D., Wanner, M., Zimmermann, E., y Martin, B. W. (2010). Physical activity levels and determinants of change in young adults: A longitudinal panel study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7, 1-13. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-2>**