

LOS EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN ADULTOS CON DIABETES MELLITUS TIPO 2

THE EFFECTS OF RESISTANCE TRAINING IN ADULTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS

Breyner Dudlier Riveros Castellanos

Estudiante de IX de licenciatura en educación física y deportes.

Integrante del semillero de investigación de actividad para la salud (SIAFSA), Universidad de los Llanos.

<https://orcid.org/0009-0009-9378-883X>

breynerdudlier77.riveros@gmail.com;

Breyner.riveros@unillanos.edu.co

Jhohan Alberto Pineda Angulo

Estudiante de noveno semestre de licenciatura en educación física y deportes, Universidad de los Llanos

<https://orcid.org/0009-0004-4233-0232>

Japineda.angulo@unillanos.edu.co

Johanxz345@gmail.com

Carlos Eduardo Sarmiento Herrera

Docente Investigador de la Universidad de los Llanos- Magister en Actividad Física y Deporte, Estudiante de Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Manuela Beltrán

<https://orcid.org/0000-0002-8536-8124>

lic.eduardosarmientoherrera@gmail.com;

eduardosarmiento.ch@academia.umb.edu.co

Oscar Mauricio Santamaría Niño

Lic. en Cultura Física - UCCFD Manuel Fajardo (Cuba)

MSc en Cultura Física Terapéutica - UCCFD (Cuba)

PhD en Ciencias Fisiológicas - UFES (Brasil)

Docente Programa de Educación Física y Deportes

Universidad de los Llanos

<https://orcid.org/0000-0002-5502-0864>

Nelson Enrique Toscano Diaz

Estudiante IX semestre, Lic. Educación Física y Deporte

Estudiante VI semestre Ing. de Alimentos - UNAD

Investigador perteneciente al semillero de investigación en Actividad Física para la Salud, SIAFSA, UNILLANOS

<https://orcid.org/0009-0001-8234-9796>

nelson.toscano@unillanos.edu.co

María Camila Hernández Rodríguez

Estudiante de IX semestre en Lic. Educación Física y Deporte, Estudiante investigador perteneciente al semillero de investigación infancia y envejecimiento SIIEN, Universidad de los Llanos.

<https://orcid.org/0009-0006-9045-1287>

maria.hernandez.rodriguez@unillanos.edu.co

Yerson Daniel Achury Cuellar,

Estudiante de IX semestre en Lic. Educación Física y Deporte, Estudiante investigador perteneciente al semillero de investigación en Actividad Física para la Salud SIAFSA, Universidad de los Llanos.

<https://orcid.org/0009-0000-5934-9715>

Yerson.achury@unillanos.edu.co

Resumen

Objetivo. Analizar la evidencia reciente (2018 en adelante) sobre los efectos del entrenamiento de resistencia en adultos con diabetes mellitus tipo 2 (DM2), evaluando cómo diferentes modalidades e intensidades influyen en la hipertrofia muscular, la preservación de la masa magra, la reducción del porcentaje de grasa corporal y el mejoramiento del control glucémico. **Metodología.** Se realizó un estado del arte que integró investigaciones publicadas desde 2018 sobre entrenamiento de fuerza en adultos con DM2, considerando parámetros como tipo de ejercicio, intensidad (particularmente entre el 60% y el 80% del 1RM), frecuencia y duración de los programas. La revisión incluyó estudios que reportaran cambios en composición corporal, fuerza muscular y marcadores metabólicos como glucosa en ayunas y hemoglobina glicosilada (HbA1c). **Resultados:** La literatura muestra que los programas estructurados de entrenamiento de resistencia, especialmente aquellos desarrollados a intensidades entre el 60% y el 80% del 1RM, generan incrementos consistentes en la fuerza muscular y en la masa libre de grasa, junto con reducciones clínicamente relevantes en glucosa en ayunas y HbA1c. Estos efectos se relacionan con mecanismos como una mayor translocación de

GLUT-4, la optimización de la función mitocondrial y la activación de vías moleculares clave para el equilibrio energético. Se observa, además, que programas de menor intensidad o entrenamientos domiciliarios producen adaptaciones más modestas, pero constituyen alternativas pertinentes para personas con limitaciones funcionales, comorbilidades o baja adherencia. **Conclusión:** El estado del arte respalda que el entrenamiento de resistencia es una intervención fundamental en el manejo integral de la DM2, al contribuir de forma significativa a la salud metabólica, la funcionalidad y la calidad de vida de los adultos que viven con esta condición crónica. Asimismo, subraya la necesidad de adaptar los programas de fuerza a las capacidades y contextos de cada persona, aprovechando tanto modalidades de alta intensidad supervisada como esquemas de menor exigencia o domiciliarios para favorecer la adherencia a largo plazo.

Palabras clave. Diabetes mellitus tipo 2; Entrenamiento de resistencia; Hipertrofia; Composición corporal; Masa magra; HbA1c; Fuerza muscular; Entrenamiento supervisado.

Abstract

Objective. To analyze recent evidence (from 2018 onward) on the effects of resistance training in adults with type 2 diabetes mellitus (T2DM), assessing how different modalities and intensities influence muscle hypertrophy, preservation of lean mass, reduction in body fat percentage, and improvement in glycemic control. **Methodology.** A state-of-the-art review was conducted, integrating studies published since 2018 on resistance training in adults with T2DM, considering parameters such as type of exercise, intensity (particularly between 60% and 80% of 1RM), frequency, and program duration. The review included studies reporting changes in body composition, muscle strength, and metabolic markers such as fasting glucose and glycated hemoglobin (HbA1c). **Results.** The literature shows that structured resistance training programs, especially those performed at intensities between 60% and 80% of 1RM, lead to consistent increases in muscle strength and fat-free mass, along with clinically relevant reductions in fasting glucose and HbA1c. These effects are explained by mechanisms such as greater GLUT-4 translocation, optimization of mitochondrial function, and activation of key molecular pathways for energy balance. Lower-intensity programs or home-based training produce more modest adaptations but represent valuable alternatives for individuals with functional limitations, comorbidities, or adherence difficulties. **Conclusion.** The state of the art supports that resistance training is a fundamental intervention in the comprehensive management of T2DM, as it contributes significantly to metabolic health, functional capacity, and quality of life in adults living with this chronic condition. It also highlights the need to tailor strength programs to each person's capacities and context, making use of both supervised high-intensity modalities and lower-intensity or home-based schemes to promote long-term adherence.

Keyword. Type 2 diabetes mellitus; Resistance training; Hypertrophy; Body composition; Lean mass; HbA1c; Muscle strength; Supervised training.

Introducción

La diabetes mellitus tipo 2 constituye uno de los principales desafíos de salud pública a nivel mundial, dada su creciente prevalencia y su estrecha relación con complicaciones metabólicas y cardiovasculares. La pérdida progresiva de masa muscular y la disminución de la sensibilidad a la insulina representan manifestaciones habituales en esta población, lo que subraya la pertinencia de estrategias terapéuticas orientadas al fortalecimiento muscular. El entrenamiento de resistencia (ER) se refiere a aquellos métodos especializados de acondicionamiento físico que aplican una variedad de cargas de resistencia, diferentes velocidades de movimiento y varios métodos de entrenamiento, incluidas máquinas de pesas, pesas libres (barras y mancuernas), bandas elásticas, balones medicinales y pliometría (1). El ER que incluye ejercicios con pesas o bandas de resistencia, ha ganado reconocimiento por su capacidad para mejorar el control glucémico, preservar la masa magra y mejorar la función metabólica (2). El ejercicio provoca numerosas adaptaciones metabólicas en el cuerpo, destacando especialmente la mejora de la sensibilidad a la insulina y la regulación superior de la glucosa en sangre (3). Particularmente, el entrenamiento con sobrecarga orientado hacia la hipertrofia (entrenamiento hipertrófico) puede ayudar en población con sarcopenia, dinapenia, osteopenia, pacientes con alteraciones cardiometabólicas, así como a deportistas (4). La hipertrofia se define como la expansión de los elementos contráctiles y la matriz extracelular, lo que se traduce en el incremento del volumen del tejido muscular (5). Tanto los protocolos de alta carga (>60% del 1RM) como los de baja carga (<60% del 1RM) pueden inducir hipertrofia en magnitudes similares, dependiendo del volumen, la frecuencia y los intervalos de descanso del entrenamiento (6). Sin embargo, su efecto concreto en el desarrollo muscular de las poblaciones con diabetes no se ha examinado aún de manera detallada y cuantitativa.

Dentro del marco de la diabetes, La carga mundial de esta enfermedad está creciendo significativamente, afectando a más de 537 millones de adultos y se estima que llegue a los 783 millones para el año 2045. La prevalencia es especialmente alta entre las mujeres debido a diferencias en los factores metabólicos y hormonales (7). La Organización Panamericana de la Salud (OPS) informa que en el año 2016 han fallecido más de 342.603 individuos y que, además, se producen secuelas a nivel ocular, renal, cardíaco, cerebrovascular y amputaciones en miembros inferiores (8).

La diabetes puede causar múltiples complicaciones, como enfermedades del riñón, coronarias, cerebrovasculares y ceguera. Esto supone un considerable daño para la salud y ejerce presión sobre las infraestructuras médicas y socioeconómicas (3). La diabetes tipo 2 es identificada como un grave problema de salud pública que tiene un impacto significativo en la vida humana y los costos sanitarios. El rápido crecimiento económico y la urbanización han provocado que, en numerosas regiones del planeta, esta enfermedad se convierta en una carga más pesada (9).

Esta enfermedad se distingue por cambios en el metabolismo de la glucosa y una pérdida continua de masa muscular. La evidencia acerca de la hipertrofia inducida por entrenamiento de resistencia es muy relevante para mejorar la prescripción del ejercicio como instrumento terapéutico y reducir la prevalencia de esta enfermedad, que está generando un fuerte impacto a nivel social.

Diabetes mellitus II

La glucosa es un sustrato energético esencial para la mayoría de las células del organismo humano; sin embargo, en las células dependientes de insulina, la imposibilidad de introducir glucosa representa un problema metabólico que tiene una serie de efectos (10), entre ellos el origen de la diabetes, la diabetes mellitus es considerada como un grupo de alteraciones metabólicas que se caracteriza por hiperglucemia crónica, debida a un defecto en la secreción de la insulina, a un defecto en la acción de esta, o a ambas. Además de la hiperglucemia, coexisten alteraciones en el metabolismo de las grasas y de las proteínas. La hiperglucemia sostenida en el tiempo se asocia con daño, disfunción y falla de varios órganos y sistemas, especialmente riñones, ojos, nervios, corazón y vasos sanguíneos (11). La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad endocrina que se distingue por la insuficiencia en la acción o secreción de insulina, lo que ocasiona trastornos en el metabolismo de grasas, carbohidratos y proteínas. Esta condición genera un estado crónico de hiperglucemia que puede dar lugar a múltiples complicaciones, siendo la muerte el desenlace más fatal si no se diagnostica y se trata con prontitud (12).

La diabetes afecta las capacidades funcionales de las personas y su calidad de vida, lo que conduce a una morbilidad significativa y a una mortalidad prematura (13). Se ha observado una alta prevalencia de esta enfermedad en el 2019 en la cual se manifiesta que un total de 462 millones de individuos padecen esta enfermedad (14). En Colombia la organización panamericana de la salud (OPS) ha demostrado que la prevalencia de esta enfermedad sigue siendo elevada, y se refleja en más de 7.000 muertes en 2019 y una carga importante de discapacidad en la población colombiana (15).

Esto se debe al aumento del consumo de dietas poco saludables y los estilos de vida sedentarios, dando como resultado un Índice de Masa Corporal (IMC) elevado y glucosa plasmática en ayunas, estos factores han sido alterados debido a estas tendencias (16). Todo ello se debe en parte a la falta de conciencia y promoción de la salud necesaria para el control de la diabetes (17). Para el tratamiento del paciente diabético, se trae a colación la práctica de ejercicio y el seguimiento de dieta adecuada, siendo una excelente herramienta para tratar la diabetes tipo II, y reducir sus factores de riesgo asociados con la enfermedad renal crónica, cardiovascular, entre otras, y reduzcan la mortalidad a nivel mundial. El ejercicio es un factor determinante en el manejo de la DM2, por lo anterior debe ser utilizado para mejorar la salud y la calidad de vida de los pacientes afectados con dicha patología (12).

Metodología

Se llevó a cabo un estado del arte con enfoque narrativo, orientado a identificar y analizar investigaciones publicadas entre 2018 y 2025 en bases de datos como PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se incluyeron ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis que evaluaran los efectos del entrenamiento de resistencia en adultos con DM2.

Los criterios de inclusión abarcaron estudios que midieran variables de composición corporal (DXA, BIA, antropometría), fuerza muscular y marcadores glucémicos (HbA1c, glucosa en ayunas). Se excluyeron investigaciones en diabetes tipo 1, intervenciones exclusivamente aeróbicas, reportes de caso y estudios previos a 2018.

Resultados

Tras aplicar la revisión rigurosa descrita en la metodología, el conjunto de estudios incluidos permitió formar una base de evidencia sólida y actualizada sobre los efectos del entrenamiento de resistencia en adultos con diabetes mellitus tipo 2. La literatura recopilada entre 2018 y hasta la fecha integra ensayos clínicos, que abordan, desde diferentes resultados, la influencia del entrenamiento de resistencia y la sobrecarga progresiva en parámetros metabólicos y de control glucémico. Los resultados se agrupan en cinco categorías diferentes que permiten describir los principales efectos del entrenamiento de resistencia sobre la composición corporal, los indicadores metabólicos y la función muscular en personas con DM2. A continuación, se presentan los resultados organizados según estas cinco características principales:

Cambios en masa magra y fuerza muscular

Se sabe que la composición corporal está asociada con varias enfermedades, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, cánceres, osteoporosis y osteoartritis. Mantener un equilibrio energético y una adecuada composición corporal, con un nivel aceptable de masa grasa, es importante para mantener una buena salud, pues cuando hay una acumulación excesiva de esta, aumenta el riesgo de adquirir enfermedades crónicas no transmisibles (18) . Los cambios en la composición corporal ocurren cuando hay un desajuste entre la ingesta de nutrientes y el requerimiento (19) . esto conducirá a una respuesta inflamatoria crónica, generadora de repercusiones sistémicas, como alteraciones endoteliales, resistencia a la insulina y acumulación de grasa ectópica. Así, aparecen patologías crónicas graves como la diabetes mellitus tipo II, enfermedades cardiovasculares y síndrome metabólico (20).

La evidencia reciente manifiesta que el entrenamiento de resistencia produce mejoras significativas en la masa muscular y fuerza en adultos con diabetes mellitus tipo 2, dependiendo de la progresión e intensidad del ejercicio. Se reportó aumentos en masa muscular de aproximadamente 0.8 a 1.0 kg, y reducción del IMC (-0,37 kg/m²) junto con

mejoras significativas en fuerza de miembro superior e inferior, evidenciadas mediante incrementos estandarizados en fuerza máxima (21). De igual manera, un ensayo clínico de 32 semanas en adultos con DM2, demostró que un programa de ER en casa evita una reducción de la masa magra, aunque no produce aumentos significativos en el total de masa magra. Sin embargo, sí se observaron aumentos segmentales de la masa magra del brazo, este tuvo un aumento de 80.72 g, mientras que la masa magra de la pierna aumentó 152.84 g, en comparación con el grupo control que presentó reducciones en ambas regiones (22). De igual manera,

Con esto se confirma que la literatura sugiere que los mayores efectos sobre la composición corporal se logran en intervenciones supervisadas, progresivas y de intensidad moderada-alta, mientras que los programas realizados en casa tienden a generar cambios mínimos en la grasa corporal.

Cambios en masa grasa y composición corporal

La evidencia científica es clara en relación con el tipo de intensidad en la reducción de la grasa corporal en pacientes con DM2, especialmente en relación con el porcentaje de grasa. En un metaanálisis (23) que incluyó 13 ensayos clínicos, se manifiesta una reducción significativa del porcentaje de grasa corporal (-1.38%) en comparación con el grupo control. Este efecto estuvo más enmarcado en los programas de intensidad media - baja, mientras que el grupo de alta intensidad también mostró descensos, pero sin resultados significativos. Por otro lado, no se encontraron diferencias entre los tipos de intensidad, sugiriendo que distintos niveles de carga pueden ser efectivos para reducir la adiposidad.

Dentro del mismo metaanálisis, se analizó 22 ensayos clínicos, reportando que el entrenamiento de resistencia no produjo reducciones significativas en el índice de masa corporal (IMC) en comparación con los grupos control. Esto indica que, aunque el entrenamiento de resistencia puede realizar cambios en la composición corporal y disminuir el porcentaje de grasa, estos cambios no siempre se ven reflejados en el IMC.

En modo complementario, en un ensayo clínico aleatorizado participaron cuarenta y ocho pacientes inactivos con diabetes tipo II de entre 40 y 65 años, que comparó entrenamiento de resistencia, suplementación con vitamina D y control, demostró reducciones significativas en el peso corporal (-1.18 kg en el grupo ER y -1.82 kg en el grupo VD+ER) así como disminuciones en el índice de masa corporal (-2.56% y -2.86%) en comparación con el grupo control. Estos resultados confirman que el entrenamiento de resistencia contribuye a disminuir la adiposidad general, especialmente en intervenciones estructuradas de al menos 12 semanas (24).

Entrenamiento de resistencia (ER)

La hipertrofia muscular inducida por ejercicio de resistencia constituye una herramienta de alta pertinencia para personas con alteraciones en la sensibilidad a la insulina, dado que el

musculo esquelético representa el principal destino de la captación de la glucosa mediada por insulina. El aumento de masa y calidad muscular favorece mejoras en la señalización metabólica, en la oxidación de sustratos y en la regulación de balance glucémico, lo que contribuye a contrarrestar la disfunción metabólica característica de la diabetes tipo 2. En este sentido, el desarrollo de tejido muscular puede entenderse como una forma contemporánea de intervención corporal con implicaciones tanto fisiológicas con terapéuticas, orientada a restaurar procesos alterados como la resistencia a la insulina, el deterioro mitocondrial y la acumulación ectópica de lípidos.(25)

Como bien se sabe, la diabetes Mellitus es una patología crónica que afecta múltiples órganos y sistemas, provocando un gran impacto en la vida y el bienestar de las personas en todo el mundo, es por esto, por lo que, a través de diversas investigaciones, la literatura afirma que el ejercicio juega un papel fundamental en el manejo de la resistencia a la insulina, la prediabetes y la Diabetes Mellitus, especialmente la DM2 (8) . Uno de los principales protagonistas en la regulación de la glucosa es el músculo esquelético, el cual tiene la capacidad de cambiar el sustrato energético según esté en estado de ayuno, en estado posprandial o durante el ejercicio, lo que se conoce como flexibilidad metabólica (26).

Desde una perspectiva fisiológica, el musculo esquelético constituye el principal órgano efector en la regulación de la homeostasis glucémica, siendo responsable de hasta el 80% de captación de glucosa durante la estimulación insulínica. Esta capacidad lo posiciona como un tejido metabólicamente estratégico, cuya expansión y fortalecimiento tras el entrenamiento de resistencia trascienden las mejoras funcionales y convierten en intervenciones como impacto terapéutico y preventivo frente a alteraciones metabólicas.(25)

El marco conceptual del ejercicio como medicina de precisión postula que la prescripción de actividad física debe aplicarse con el mismo rigor que los tratamientos farmacológicos. Bajo esta perspectiva, la diabetes mellitus tipo 2 no se comprende únicamente como un trastorno del metabolismo de carbohidratos, sino como una alteración compleja que involucra la disfunción del metabolismo lipídico, la acumulación ectópica de lípidos intramoleculares y reducción de la eficiencia mitocondrial. En este contexto el entrenamiento de fuerza actúa como una intervención capaz de mejorar la sensibilidad a la insulina, optimizar la utilización de lípidos intramuscular, favorecer la biogénesis mitocondrias y contribuir a la restauración del equilibrio energético celular, consolidándose como un agente terapéutico de alto impacto en la fisiopatología metabólica(27)

Cambios en control glucémico

Numerosos estudios manifiestan que el entrenamiento de resistencia promueve la sensibilidad a la insulina mediante el aumento de la masa muscular, la captación de glucosa

y facilita la eliminación de glucosa de la circulación (18) (28). Este tipo de entrenamiento se destaca por sus resultados a largo plazo, a su vez es seguro para pacientes diabéticos mayores, y mejora el control glucémico (disminución de HbA1c) y la fuerza muscular (28). Además, el RE puede realizarse en un entorno residencial y es más apropiado para pacientes mayores con T2D sedentarios y con menor fuerza muscular (29). Un metaanálisis reciente, manifiesta que el entrenamiento de alta intensidad es más beneficioso que el de intensidad baja o moderada para el manejo general de la glucosa y la atenuación de los niveles de insulina en adultos con diabetes tipo 2 (18)

De acuerdo con la propuesta de ejercicio como medicina personalizada, un programa que integre componentes aeróbicos y de resistencia puede funcionar como intervención precisa y adaptada al estado metabólico del individuo, con capacidad para prevenir o ralentizar la progresión del deterioro metabólico característico del diabetes tipo 2. Bajo este enfoque, la hipertrofia muscular opera como un proceso de “reprogramación metabólica” que incrementa la capacidad oxidativa del musculo esquelético, optimiza el uso de sustratos energéticos y favorece la captación periférica de glucosa, lo que traduce en una mejora sustancial de la sensibilidad insulínica.(30)

La evidencia disponible señala que el entrenamiento de resistencia constituye un estímulo altamente eficaz para mejorar la sensibilidad a la insulina, especialmente cuando se orienta al desarrollo de masa muscular. En este sentido, se ha descrito que el musculo esquelético actúa como el mayor reservorio de glucosa del organismo y su expansión a través del entrenamiento contribuye al control glucémico tanto en sujetos sanos como en personas con diabetes tipo 2. El incremento de la masa libre de grasa, junto con las adaptaciones estructurales y metabólicas inducidas por el entrenamiento, refuerza el papel de musculo como órgano regulador clave en la homeostasis energética(31)

No obstante, a la relación entre el incremento de la masa muscular y la mejora de la sensibilidad a la insulina no es estrictamente lineal. Existen investigaciones que evidencian que aumentos en el volumen muscular no siempre corresponden con mejoras metabólicas equivalentes, lo cual sugiere que la masa muscular por sí sola no explica completamente la optimización del metabolismo glucémico. En este sentido factores como la calidad del tejido muscular incluyendo la capilarización, la densidad mitocondrial, la actividad enzimática oxidativa y la organización estructural del sarcómero desempeñan un papel determinante en la respuesta metabólica. Estudios previos han documentado que individuos que incrementan su masa muscular pueden no experimentar cambios proporcionales en la sensibilidad a la insulina si no se producen adaptaciones paralelas en la arquitectura metabólica del musculo(27)

Desde esta perspectiva, el entrenamiento de hipertrofia debe interpretarse no solo como un proceso de aumento estructural, sino como una intervención fisiológica compleja que induce adaptaciones celulares, moleculares y enzimáticas esenciales para mejorar la

respuesta metabólica. Este tipo de entrenamiento activa diversas vías de señalización que participan de manera complementaria en la regulación del metabolismo energético y la sensibilidad a la insulina. Entre ellas, destacan dos rutas principales: La vía Mtorc1 y la vía AMPK, cuya activación dinámica determina el equilibrio entre crecimiento muscular y eficiencia energética(27)

La vía AMPK actúa como un sensor energético celular y se activa ante estados de estrés metabólico, tales como el aumento del gasto energético durante el ejercicio. AMPK incrementa la oxidación de los lípidos, favorece la biogénesis mitocondrial a través de PGC-1 α , la mejora el transporte de glucosa mediante la traslocación de GLUT4 independiente de insulina y regula procesos catabólicos necesarios para mantener la homeostasis energética. Estas adaptaciones son fundamentales para mejorar la sensibilidad a la insulina, especialmente en personas con resistencia insulínica establecida(30)

La vía Mtorc1 es el eje principal de la síntesis proteica y del crecimiento muscular. Su activación se produce en respuesta a estímulos mecánicos como el entrenamiento de fuerza, la disponibilidad de aminoácidos y señalización hormonal. Mtorc1 regula la traducción proteica a través de efectores p70S6K y 4E-BP1, promoviendo la hipertrofia muscular. Sin embargo, su función no se limita a la síntesis proteica: también influye en el metabolismo de glucosa al mejorar la translocación de GLUT4 y optimizar la capacidad del músculo para captar glucosa circulante. Esta relación directa explica por qué la hipertrofia inducida por fuerza puede mejorar la sensibilidad insulínica incluso en ausencia de pérdida de tejido adiposo(27)

En una investigación realizada en 2024 se desarrolló un sistema de entrenamiento remoto denominado SUKUBARA, basado en ejercicios de resistencia de baja carga combinados con trabajo de equilibrio y control postural (32). Este programa, aplicado en adultos mayores, logró mejorar la fuerza y la masa libre de grasa utilizando únicamente el peso corporal y un sistema de monitoreo en línea.

El estudio evidenció que un modelo de entrenamiento accesible y mediado tecnológicamente puede inducir adaptaciones hipertróficas y funcionales incluso en poblaciones con riesgo de fragilidad (33). Para las personas con diabetes mellitus tipo 2, este enfoque representa una alternativa prometedora, ya que integra componentes de autonomía, adherencia y supervisión remota, elementos clave para la gestión efectiva de la enfermedad.

Efectos sobre HbA1c, glucosa y sensibilidad insulínica

Diversas investigaciones han documentado que el entrenamiento de fuerza orientado a hipertrofia constituye una estrategia eficaz para mejorar el control glucémico en personas con diabetes tipo 2. En primer lugar, múltiples estudios han mostrado que la ejecución sistemática de protocolos de resistencia incrementa la captación de glucosa mediada por

GLUT-4, aun en ausencia de insulina, lo que favorece reducciones progresivas en los niveles de glucosa en ayunas(34)

En cuanto a la hemoglobina glicosilada (HbA1c), indicador clave del control metabólico crónico se ha evidenciado que programas de 8 a 16 semanas de entrenamiento de hipertrofia, con intensidades entre el 60-80 % de 1RM, generan disminuciones clínicamente relevantes de entre 0.5 y 1.2 % de HbA1c, asociadas a aumentos simultáneos de la masa muscular esquelética(34)

Respecto a la sensibilidad a la insulina, estudios que comparan entrenamiento aeróbico, resistencia e intervenciones combinadas han demostrado que el componente de fuerza presenta un efecto particularmente robusto sobre la disminución de la resistencia insulínica medida mediante HOMA-IR. Los protocolos de hipertrofia logran incrementar la densidad mitocondrial, la actividad de AMPK y la expresión de IRS-1, mecanismos que se relacionan directamente con la mejora de la señalización insulínica(33)De manera relevante, incluso en intervenciones de combinación moderada como las reportadas en “Effects of moderate-intensity combination exercise on increase adiponectin levels, muscle mass, and decrease fat mass in obese women” se ha descrito que la ganancia de masa muscular y el aumento de adiponectina favorecen indirectamente mejoras en la sensibilidad a la insulina al promover un perfil antiinflamatorio sistémico y un mayor flujo de ácidos grasos hacia el metabolismo oxidativo(35).

Variable metabólica	Hallazgos según evidencia	Mecanismos fisiológicos asociados	Referencia
Captación de glucosa	El entrenamiento de resistencia incrementa la captación de glucosa mediada por GLUT-4 incluso sin presencia de insulina.	Mayor translocación de GLUT-4 hacia la membrana celular; incremento del uso de glucosa por el músculo esquelético.	(30)
Glucosa en ayunas	Reducciones progresivas con la aplicación sistemática de protocolos de hipertrofia.	Aumento del consumo periférico de glucosa y mejora de la homeostasis glucémica.	(33)
Hemoglobina	Disminuciones entre	Incremento de masa	(33)

glicosilada (HbA1c)	0.5–1.2 % luego de 8–16 semanas de entrenamiento al 60–80 % 1RM.	muscular esquelética → mayor captación basal de glucosa.	
Sensibilidad a la insulina	El entrenamiento de fuerza mejora la resistencia insulínica más que el aeróbico o la combinación tradicional	Aumento de AMPK, densidad mitocondrial y expresión de IRS-1.	(31)
Efecto de programas combinados (moderados)	Incremento de adiponectina, ganancia de masa muscular y reducción de masa grasa.	Adiponectina promueve un perfil antiinflamatorio y aumenta la oxidación de ácidos grasos, lo que mejora sensibilidad a la insulina.	(33)

Fuente. Creación Propia.

Características del entrenamiento de resistencia

El entrenamiento de resistencia orientado a hipertrofia en personas con diabetes tipo 2 debe cumplir una serie de características estructurales y fisiológicas que permiten optimizar la respuesta metabólica sin comprometer la seguridad del paciente. En los estudios que analizaste, este tipo de entrenamiento se fundamenta en un principio clave: estimular suficiente tensión mecánica y estrés metabólico para inducir adaptaciones en el músculo esquelético, pero evitando cargas excesivas que puedan generar riesgo cardiovascular o articular en poblaciones clínicas. Por ello, la mayoría de las intervenciones utilizan intensidades entre el 60–80 % de 1RM, rango identificado como eficaz tanto para producir hipertrofia como para mejorar la sensibilidad a la insulina, al facilitar la translocación de GLUT-4 y el aumento de la masa muscular esquelética(27)

Los programas siguen una estructura progresiva, con frecuencias de 2 a 3 sesiones por semana y volúmenes acumulados de 2 a 4 series por ejercicio, orientados a estimular grandes grupos musculares. Esta distribución es consistente con los principios de sobrecarga gradual necesarios para generar incrementos en el área de sección transversal muscular. Además, la evidencia presentada indica que, incluso cuando se emplean protocolos de baja carga como en el estudio de Suzuki et al., “Effectiveness of a remote monitoring-based home training system for preventing frailty in older adults in Japan”, los sujetos pueden obtener mejoras en fuerza y masa muscular cuando el entrenamiento se

aproxima al fallo muscular, lo que sugiere que el esfuerzo relativo, más que la carga absoluta, desempeña un papel decisivo en las adaptaciones metabólicas.(36)

Otra característica fundamental de los programas de hipertrofia en pacientes con diabetes tipo 2 es la inclusión de movimientos multiarticulares, tales como sentadillas, empujes, remos o ejercicios equivalentes adaptados a capacidades físicas reducidas. La razón fisiológica radica en que los ejercicios que comprometen grandes masas musculares generan mayor demanda de glucosa y estimulan de forma más pronunciada vías moleculares como mTORC1, AMPK e IRS-1, todas ellas involucradas directamente en la mejora de la señalización insulínica. Paquin et al. destacan que el músculo esquelético es el principal tejido responsable de la captación de glucosa inducida por insulina, y que su activación repetida en protocolos estructurados potencia tanto la oxidación periférica como la capacidad de almacenamiento de glucógeno(27)

En intervenciones donde se requiere mayor seguridad o accesibilidad, como en poblaciones envejecidas o con comorbilidades, los programas pueden adaptarse mediante intensidades reducidas o entrenamientos domiciliarios. El estudio de Suzuki et al. demuestra que un sistema de entrenamiento remoto, sin cargas externas y centrado en la activación repetida de los músculos principales a través de ejercicios funcionales, puede inducir aumentos de fuerza y masa libre de grasa. Aunque este protocolo no está diseñado específicamente para diabetes tipo 2, sus fundamentos son compatibles con los mecanismos que sustentan el mejoramiento metabólico: activación muscular suficiente, repetición de estímulos y adherencia a un volumen semanal significativo(36)

Tabla 2. ENTRENAMIENTO DE HIPERTROFIA EN DM2.

Criterio	Descripción general según evidencia analizada	Fundamento fisiológico o estructural	Referencias del texto
Intensidad utilizada	60–80 % de 1RM como rango predominante para hipertrofia y seguridad clínica.	Facilita tensión mecánica suficiente sin riesgo cardiovascular; aumenta la translocación de GLUT-4 y la sensibilidad a la insulina.	(30)
Volumen de entrenamiento	2–4 series por	Volúmenes moderados incrementan el	(33)

	ejercicio, orientadas a grandes grupos musculares.	área de sección transversal y favorecen adaptaciones metabólicas.	
Frecuencia semanal	2 a 3 sesiones por semana.	Permite recuperación adecuada y estimulación continua para promover hipertrofia y captación de glucosa.	(35)
Tipo de ejercicios	Movimientos multiarticulares (sentadillas, empujes, remos, variantes adaptadas).	Mayor activación muscular, mayor demanda de glucosa y estimulación de vías mTORC1, AMPK, IRS-1.	(30)
Estrategia de progresión	Sobrecarga progresiva orientada a inducir estrés mecánico y metabólico óptimo.	Estímulos crecientes son necesarios para hipertrofia y mejoramiento metabólico sostenido.	(33)

Fuente. creación Propia.

Conclusión

La literatura revisada a partir de los artículos confirma que el entrenamiento de resistencia constituye una intervención esencial dentro del manejo metabólico de los adultos con diabetes mellitus tipo 2. La evidencia demuestra que los programas orientados a hipertrofia generan incrementos en la masa magra, mejoras en la fuerza muscular y adaptaciones metabólicas que favorecen la captación periférica de glucosa, la translocación de GLUT-4 y la sensibilidad a la insulina. Estas respuestas consolidan el papel del músculo esquelético como eje central en la regulación glucémica, dada su capacidad para actuar como principal depósito y consumidor de glucosa mediada por insulina.

Sin embargo, aunque los cambios en parámetros como el índice de masa corporal pueden ser mínimos, las modificaciones en la composición corporal particularmente la reducción del porcentaje de grasa y la preservación o aumento de masa libre de grasa producen

efectos clínicamente significativos sobre el metabolismo. Esto subraya la importancia de evaluar la composición corporal desde una perspectiva funcional, integrando marcadores como la masa magra segmental, la calidad muscular y la fuerza, más allá del peso corporal total.

Las intervenciones más efectivas comparten características programáticas específicas: intensidades entre el 60–80 % del 1RM, progresión sistemática del volumen, inclusión de ejercicios multiarticulares y una frecuencia mínima de dos a tres sesiones semanales. Estas variables generan la tensión mecánica y el estrés metabólico necesarios para activar vías moleculares como AMPK y mTORC1, cuya interacción regula la síntesis proteica, la biogénesis mitocondrial y la eficiencia metabólica. Además, los protocolos de baja carga realizados cerca del fallo y los sistemas de entrenamiento domiciliario supervisado han mostrado producir adaptaciones comparables, convirtiéndolos en alternativas válidas para poblaciones con limitaciones funcionales o problemas de adherencia.

En términos de control glucémico, la evidencia es sólida: disminuciones entre 0.5 y 1.2 % en HbA1c, reducciones en glucosa en ayunas y mejoras importantes en resistencia insulínica medida mediante HOMA-IR. Estos cambios no solo tienen relevancia fisiológica, sino que también contribuyen a la prevención de complicaciones microvasculares y macrovasculares asociadas a la enfermedad.

En conjunto, los hallazgos permiten concluir que el entrenamiento de resistencia no representa un complemento opcional dentro del tratamiento de la diabetes tipo 2, sino un pilar terapéutico cuya eficacia metabólica se compara con intervenciones farmacológicas. Se destaca la necesidad de prescribir programas individualizados, progresivos y sostenibles, fundamentados en los principios de la medicina de precisión, para atender la heterogeneidad fisiológica de la población diabética. En un escenario donde la prevalencia de DM2 continúa en ascenso, promover el entrenamiento de fuerza como estrategia de salud pública resulta fundamental para disminuir la carga de enfermedad, mejorar la funcionalidad y optimizar la calidad de vida de las personas afectadas.

Referencias

1. Gómez-Feria J, Martín-Rodríguez JF, Mir P. Corticospinal adaptations following resistance training and its relationship with strength: A systematic review and multivariate meta-analysis. Vol. 152, Neuroscience and Biobehavioral Reviews. Elsevier Ltd; 2023.
2. Chien YH, Tsai CJ, Wang DC, Chuang PH, Lin HT. Effects of 12-Week Progressive Sandbag Exercise Training on Glycemic Control and Muscle Strength in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus Combined with Possible Sarcopenia. Int J Environ Res Public Health. 2022 Nov 1;19(22).

3. Su W, Tao M, Ma L, Tang K, Xiong F, Dai X, et al. Dose-response relationships of resistance training in Type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of randomized controlled trials. Vol. 14, *Frontiers in Endocrinology*. Frontiers Media SA; 2023.
4. Havers T, Held S, Schönfelder M, Geisler S, Wackerhage H. Effects of Skeletal Muscle Hypertrophy on Fat Mass and Glucose Homeostasis in Humans and Animals: A Narrative Review with Systematic Literature Search. Vol. 55, *Sports Medicine*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2025. p. 1867–85.
5. Liu R, Shi X, Zhang X. The effects of resistance training on glycemic control, cardiometabolic health, and body composition in middle-aged and older women with type 2 diabetes and overweight or obesity: A systematic review and meta-analysis. Vol. 201, *Maturitas*. Elsevier Ireland Ltd; 2025.
6. Yaribeygi H, Farrokhi FR, Butler AE, Sahebkar A. Insulin resistance: Review of the underlying molecular mechanisms. Vol. 234, *Journal of Cellular Physiology*. Wiley-Liss Inc.; 2019. p. 8152–61.
7. Rojas DE, Molina DR, Rodríguez C. CAPÍTULO II DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA DIABETES MELLITUS.
8. Bernabé López J, Grande Miguel J, López Cadena O, Arriaga Escamilla D, Velázquez JA. Diabetes tipo 2: Una revisión sistemática. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*. 2023 Nov 27;4(5).
9. Onyango EM, Onyango BM. The rise of noncommunicable diseases in Kenya: An examination of the time trends and contribution of the changes in diet and physical inactivity. *J Epidemiol Glob Health*. 2018;8(1–2):1–7.
10. Ramtahal R, Khan C, Maharaj-Khan K, Nallamotheu S, Hinds A, Dhanoo A, et al. Prevalence of self-reported sleep duration and sleep habits in type 2 diabetes patients in South Trinidad. *J Epidemiol Glob Health*. 2015 Dec 1;5(4):S35–43.
11. Arias Serna D, Vallejo Osorio AN, Vera Sagredo A, Poblete-Valderrama F, Monterrosa-Quintero A. Efectos del entrenamiento de la fuerza en personas con Diabetes Mellitus Tipo II: revisión sistemática. *Revista Ciencias de la Actividad Física*. 2023;24(1):1–13.
12. Khan MAB, Hashim MJ, King JK, Govender RD, Mustafa H, Kaabi J Al. Epidemiology of Type 2 diabetes - Global burden of disease and forecasted trends. *J Epidemiol Glob Health*. 2020 Mar 1;10(1):107–11.
13. Perfiles nacionales de carga de enfermedad por diabetes 2023 2 ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA DEBIDA A LA DIABETES [Internet]. 2000. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19856324/>.

14. Lone S, Lone K, Khan S, Pampori RA. Assessment of metabolic syndrome in Kashmiri population with type 2 diabetes employing the standard criteria's given by WHO, NCEPATP III and IDF. *J Epidemiol Glob Health*. 2017 Dec 1;7(4):235–9.
15. Jawad Hashim M, Mustafa H, Ali H. Knowledge of diabetes among patients in the United Arab Emirates and trends since 2001: a study using the Michigan Diabetes Knowledge Test عن السكري في الإمارات العربية المتحدة منذ عام 2001: دراسة باستخدام اختبار ميتشيجان للمعلومات المتعلقة بالسكري معلومات المرضى. Vol. 22, *Eastern Mediterranean Health Journal*. 2016.
16. Kuriyan R. Body composition techniques. Vol. 148, *Indian Journal of Medical Research*. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2018. p. 648–58.
17. Jingwen Wang, Shiqian Fan, Jianshe Wang. Resistance training enhances metabolic and muscular health and reduces systemic inflammation in middle-aged and older adults with type 2 diabetes: a meta-analysis. *Diabetes Res Clin Pract*. 2025 Nov;229(112941).
18. Al Ozairi E, Alsaeed D, Al Roudhan D, Jalali M, Mashankar A, Taliping D, et al. The effect of home-based resistance exercise training in people with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Diabetes Metab Res Rev*. 2023 Oct 1;39(7).
19. Fan T, Lin MH, Kim K. Intensity Differences of Resistance Training for Type 2 Diabetic Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 11, *Healthcare (Switzerland)*. MDPI; 2023.
20. Dadrass A, Mohamadzadeh Salamat K, Hamidi K, Azizbeigi K. Anti-inflammatory effects of vitamin D and resistance training in men with type 2 diabetes mellitus and vitamin D deficiency: a randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial. *J Diabetes Metab Disord*. 2019 Dec 1;18(2):323–31.
21. DiMenna FJ, Arad AD. Exercise as ‘precision medicine’ for insulin resistance and its progression to type 2 diabetes: A research review. Vol. 10, *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. BioMed Central Ltd.; 2018.
22. Smith RL, Soeters MR, Wüst RCI, Houtkooper RH. Metabolic flexibility as an adaptation to energy resources and requirements in health and disease. Vol. 39, *Endocrine Reviews*. Oxford University Press; 2018. p. 489–517.
23. Paquin J, Lagacé JC, Brochu M, Dionne IJ. Exercising for Insulin Sensitivity – Is There a Mechanistic Relationship With Quantitative Changes in Skeletal Muscle Mass? Vol. 12, *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A.; 2021.
24. Liu Y, Ye W, Chen Q, Zhang Y, Kuo CH, Korivi M. Resistance exercise intensity is correlated with attenuation of HbA1c and insulin in patients with type 2 diabetes: A

systematic review and meta-analysis. Vol. 16, International Journal of Environmental Research and Public Health. MDPI; 2019.

25. Yang Z, Scott CA, Mao C, Tang J, Farmer AJ. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Vol. 44, Sports Medicine. Adis International Ltd; 2014. p. 487–99.
26. DiMenna FJ, Arad AD. Exercise as ‘precision medicine’ for insulin resistance and its progression to type 2 diabetes: A research review. Vol. 10, BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. BioMed Central Ltd.; 2018.
27. Paquin J, Lagacé JC, Brochu M, Dionne IJ. Exercising for Insulin Sensitivity – Is There a Mechanistic Relationship With Quantitative Changes in Skeletal Muscle Mass? Vol. 12, Frontiers in Physiology. Frontiers Media S.A.; 2021.
28. Way KL, Hackett DA, Baker MK, Johnson NA. The effect of regular exercise on insulin sensitivity in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Vol. 40, Diabetes and Metabolism Journal. Korean Diabetes Association; 2016. p. 253–71.
29. Sampath Kumar A, Maiya AG, Shastry BA, Vaishali K, Ravishankar N, Hazari A, et al. Exercise and insulin resistance in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Vol. 62, Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. Elsevier Masson SAS; 2019. p. 98–103.
30. Andarianto A, Rejeki PS, Pranoto A, Izzatunnisa N, Rahmanto I, Muhammad, et al. Effects of moderate-intensity combination exercise on increase adiponectin levels, muscle mass, and decrease fat mass in obese women. Retos. 2024;55:296–301.
31. Suzuki Y, Shimizu Y, Soma Y, Matsuda T, Hada Y, Koda M. Effectiveness of a Remote Monitoring-Based Home Training System for Preventing Frailty in Older Adults in Japan: A Preliminary Randomized Controlled Trial. Geriatrics (Switzerland). 2024 Feb 1;9(1).