



## Resistance Training pada Penderita Diabetes Mellitus: Naratif Review

Andi Sri Dewi Anggraeni. M<sup>1\*</sup>, Sarifin G<sup>1</sup>, Arimbi<sup>1</sup>, Andi Ainun Zulkiah Zurur<sup>1</sup>, Andini Febriyanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisioterapi, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

\*Email: a.sri.dewi.anggraeni@unm.ac.id

### ABSTRAK

**Latar belakang:** Diabetes melitus (DM) merupakan penyakit metabolik jangka panjang yang ditandai dengan hiperglikemi secara kronis akibat kekurangan produksi insulin atau penurunan respons tubuh terhadap insulin. Diperlukan pengelolaan glikemik yang lebih baik sangat penting bagi penderita diabetes melitus. Aktivitas fisik diketahui dapat meningkatkan kontrol glikemik lebih spesifik dengan melakukan resistance training. Review ini bertujuan untuk mengeksplorasi dampak resistance training bagi penderita diabetes melitus. **Metode:** Penelitian ini merupakan naratif review menggunakan data sekunder yang diperoleh dari database Pubmed yang membahas terkait resistance training pada penderita diabetes melitus. Dari proses screening dari 201 publikasi, yang memenuhi kriteria adalah 6 jurnal. **Hasil:** Resistance training efektif memberikan dampak bagi penderita diabetes melitus **Kesimpulan:** Resistance training dapat diaplikasikan pada penderita diabetes melitus dengan tetap memperhatikan kondisi tubuh pasien

**Kata kunci:** Resistance training; diabetes melitus

### Article history:

Received: 1 January 2025

Accepted: 12 January 2025

Publish Online: 1 Februari 2025



## ABSTRACT

**Background:** diabetes mellitus (DM) is a long-term metabolic disease characterized by chronic hyperglycemia due to a lack of insulin production or a decrease in the body's response to insulin. The need for better glycemic management is essential for people with diabetes mellitus. Physical activity is known to improve glycemic control more specifically by doing resistance training. This review aims to explore the impact of resistance training for people with diabetes mellitus. **Methods:** This study is a narrative review study using secondary data obtained from the Pubmed database which discusses resistance training in patients with diabetes mellitus. From the screening process of 201 publications, which met the criteria was 6 journals. **Results:** Resistance training is effective in having an impact on people with diabetes mellitus **Conclusion:** Resistance training can be applied to people with diabetes mellitus while still paying attention to the patient's body condition

**Keywords:** Resistance training; diabetes mellitus

## PENDAHULUAN

Diabetes melitus (DM) adalah gangguan metabolik yang disebabkan oleh kurangnya sekresi insulin, kerusakan pada sel  $\beta$  pankreas, atau resistensi insulin yang menyebabkan insulin tidak dapat digunakan secara efektif (Padhi et al. 2020). Prevalensi diabetes di Indonesia diperkirakan akan meningkat dari 10,6% pada tahun 2021 menjadi 11,3% pada tahun 2030 (IDF Diabetes Atlas).

Percepatan urbanisasi dan modernisasi global mempengaruhi pola hidup, termasuk kebiasaan makan yang tidak sehat, kurangnya aktivitas fisik, peningkatan stres, serta faktor lingkungan. Semua hal ini berkontribusi terhadap meningkatnya obesitas dan diabetes tipe 2 yang semakin menjadi perhatian di berbagai bagian dunia (Chandrasekaran & Weiskirchen. 2024).

Diabetes melitus (DM) adalah penyakit metabolik jangka panjang yang ditandai dengan hiperglikemia kronis, yang berkaitan dengan gangguan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein akibat kekurangan sekresi insulin atau penurunan respons tubuh terhadap insulin (Motahari et al. 2014). Resistensi insulin (IR) menghalangi kemampuan sel otot untuk menyerap dan menyimpan glukosa serta trigliserida yang menyebabkan peningkatan kadar glukosa dan trigliserida dalam darah. IR biasanya ditemukan pada individu yang lebih tua, namun kini semakin sering terjadi pada orang dari berbagai usia, termasuk individu yang berusia paruh baya, kelebihan berat badan, dan kurang aktif (Keshel. 2014).

Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan pendekatan pre-test dan post-test untuk mengevaluasi efektivitas pelatihan metode RICE dalam meningkatkan keterampilan penanganan pertama cedera sprain ankle pada atlet sepakbola PSM Junior U-18. Sampel penelitian terdiri dari 35 atlet yang dipilih menggunakan total sampling. Kriteria inklusi meliputi atlet yang berusia dibawah 18 tahun, tidak memiliki riwayat cedera berat pada pergelangan kaki dalam enam bulan terakhir, dan bersedia mengikuti seluruh rangkaian penelitian.

Prosedur penelitian dimulai dengan pre-test, yaitu penilaian awal keterampilan atlet dalam melakukan langkah-langkah RICE menggunakan quitionare berbasis checklist. Setelah pre-test, dilakukan intervensi berupa dua sesi edukasi yang mencakup teori dan praktik metode RICE. Sesi pertama meliputi penjelasan konsep RICE, sedangkan sesi kedua berupa demonstrasi dan praktik langsung oleh peserta. Setelah intervensi, dilaksanakan post-test untuk mengukur peningkatan keterampilan atlet dalam menerapkan metode RICE sebagai Langkah awal dalam penanganan sprain ankle akut. Data yang diperoleh dari pre-test dan post-test dianalisis menggunakan uji statistik paired t-test untuk mengetahui perbedaan signifikan antara hasil sebelum dan setelah intervensi.

Resistensi insulin dianggap sebagai faktor risiko diabetes melitus tipe 2 yang ditandai dengan penurunan kemampuan jaringan target untuk merespons sinyal insulin (Lu. et al. 2024). Resistensi insulin (IR) adalah kondisi gangguan pada mekanisme kerja insulin sehingga kadar insulin yang normal tidak dapat mengaktifkan sinyal untuk penyerapan glukosa (Jelinger. 2007).

Hiperglikemia dapat merusak sel otot, yang mengarah pada penurunan kekuatan dan massa otot. Penurunan kekuatan otot juga menjadi indikator penting dari keterbatasan fungsi fisik dan disabilitas pada penderita DM. Hal ini berkaitan dengan peningkatan disabilitas fisik pada orang dewasa yang lebih tua, khususnya dalam aktivitas yang melibatkan mobilitas ekstremitas bawah (Kumar et al. 2018).

Pada diabetes tipe 2 dan obesitas, metabolisme asam lemak pada otot rangka terganggu mengakibatkan akumulasi lipid di dalam sel otot yang kemudian mengganggu pensinyalan insulin di dalam sel otot sehingga berkontribusi terhadap resistensi insulin (Strasser & Pesta, 2013)

Selama dekade terakhir, semakin banyak penelitian yang menunjukkan manfaat resistance training (RT) atau latihan ketahanan secara independen dalam pengendalian glikemik (Jansson et al. 2022). Pengelolaan glikemik yang lebih baik sangat penting bagi penderita diabetes melitus. Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi pengaruh olahraga aerobik dan latihan ketahanan terhadap penderita diabetes. Dalam pelaksanaannya, latihan aerobik memungkinkan penggunaan sebagian besar otot untuk latihan seperti jogging, bersepeda, dan berenang dan memerlukan waktu yang lama sehingga tidak memungkinkan mencapai volume dan intensitas yang diperlukan dalam pengendalian diabetes tipe-2 (Dustan et al. 2002; Liu, et al. 2019).

Dalam sebuah penelitian menunjukkan Metode RICE memberikan hasil yang efektif dalam mempercepat pemulihan setelah di kombinasikan dengan latihan. Atlet yang diberikan metode RICE mengalami pemulihan yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol. Metode RICE tidak mengganggu proses penyembuhan alami tubuh, dan tidak menyebabkan penurunan performa dalam olahraga berikutnya. Namun, manfaat optimal dari RICE dapat tercapai jika dilakukan sesegera mungkin setelah terjadi cedera Brassington et al., (2023). Beberapa metode pengobatan cedera jaringan akut yang sering digunakan seperti RICE (Rest, Ice, Compression, Elevation) dan PRICE (Protection, Rest, Ice, Compression, Elevation), dan penelitian terbaru yaitu POLICE (Protect, Optimal loading, Ice, Compression, Elevation) tetap menggunakan ice untuk mengurangi rasa nyeri pada tahap awal cedera, namun teknik dan waktu aplikasinya harus tepat Busby, (2023).

Resistance training dapat meningkatkan jumlah protein pengangkut glukosa (GLUT), memperbesar massa otot, dan meningkatkan jumlah reseptor insulin pada sel otot (Holten et al., 2004; Colberg et al. 2010).

Latihan ketahanan (RT) telah terbukti meningkatkan kekuatan otot dan kapasitas aerobik pada lansia untuk membantu pengendalian glikemik pada penderita diabetes melitus tipe 2 (Hsieh, et al. 2018). Latihan ketahanan/ resistance exercise dengan intensitas tinggi hingga sedang secara substansial mengurangi HbA1c (Liu et al. 2019).

Berbagai penelitian mengungkapkan bahwa latihan ketahanan dapat memberikan manfaat positif bagi penderita diabetes, termasuk dalam pengaturan kadar gula darah, perbaikan komposisi tubuh, dan peningkatan kualitas hidup secara keseluruhan (Hsieh, et al., 2018). Meskipun banyak manfaat yang dilaporkan, masih ada keraguan dan tantangan terkait penerapan program latihan ketahanan yang ideal, baik dari segi intensitas, durasi, maupun frekuensinya. Selain itu, perbedaan hasil yang ditemukan dalam studi-studi sebelumnya menunjukkan perlunya pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme yang mendasari efektivitas latihan ini pada penderita diabetes.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan tinjauan naratif yang dapat mengumpulkan temuan terbaru mengenai peran latihan ketahanan dalam pengelolaan diabetes. Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih jelas tentang manfaat, tantangan, serta rekomendasi praktik terbaik dalam merancang program latihan ketahanan bagi penderita diabetes.

## METODE

Penelitian ini adalah penelitian naratif review. Data penelitian yang digunakan berupa data sekunder, yaitu data yang berasal dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan telah dipublikasikan. Data sekunder yang digunakan merupakan data penelitian eksperimental resistance training atau latihan beban pada penderita diabetes melitus. Database yang digunakan untuk mencari literatur meliputi PubMed dengan kategori penelitian Clinical trial dan Randomized Controlled Trial yang dipublikasikan pada rentang tahun 2018-2024.

Hasil pencarian literatur diperoleh dari database tersebut, dengan proses penyaringan judul artikel yang relevan menggunakan kata kunci yang sesuai dengan topik yang diinginkan. Dari proses tersebut, teridentifikasi 6 artikel yang dianggap relevan dan dapat dijadikan referensi dalam penyusunan artikel ini.

## HASIL

Analisis dan sintesis data dari penelitian-penelitian yang membahas dampak latihan beban pada penderita diabetes melitus dilakukan dengan mengidentifikasi sampel, desain penelitian, jenis intervensi, dan durasi pemberian intervensi, yang tercatat dalam masing-masing jurnal. Hal ini dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis dan sintesis

Parameter	Value
1	<p>Hsieh PL, Tseng CH, Tseng YJ, Yang WS. 2018</p> <p>Inklusi: Peserta berusia 65 hingga 80 tahun dengan diagnosis diabete melitus tipe 2</p> <p><i>Pretest/posttest experimental group design</i></p> <p>Evaluasi: Pre dan post 12 minggu intervensi</p> <p>Grup 1: Delapan latihan resistance training (RT) chest press, shoulder press, biceps curl, hip abduction, standing hip flexion, leg press, standing calf raise, dan abdominal crunch dilakukan dalam 3 set dengan 8 hingga 12 repetisi. Di antara setiap set, istirahat selama 60 hingga 90 detik. RT dilakukan 3 kali seminggu selama 12 minggu. Tes 1- RM pada tubuh bagian atas dan bawah diberikan pada minggu ke-0, minggu ke-6, dan minggu ke-12. Intensitas latihan dimulai pada 40% hingga 50% 1-RM (untuk chest press dan leg press) atau pada 12 hingga 13 pada skala Borg (untuk shoulder press, biceps curl, hip abduction, standing hip flexion, standing calf raise, dan abdominal crunch)</p> <p>Grup 2: Peserta dalam kelompok kontrol menerima perawatan biasa</p> <p><i>Resistance treatment</i> meningkatkan kekuatan maksimal dalam tes chest-press dan leg-press, dan meningkatkan performa sit-to-stand sebanyak 5 kali pengulangan pada orang lanjut usia dengan diabetes melitus tipe 2.</p>



## HASIL

2	<p>Reddy, R., Wittenberg, A., Castle, J.R., et al. 2019</p>	<p>orang dewasa dengan T1D (&gt;1 tahun); usia 21–45 tahun; kelompok usia dipilih untuk membatasi paparan terhadap risiko kardiovaskular yang tidak diketahui selama berolahraga</p> <p><i>Pretest/posttest experimental group design</i></p> <p>Evaluasi: Pre dan post 3 minggu intervensi</p>	<p>Sesi latihan ketahanan, setelah periode pemanasan singkat, mencakup tiga set dengan 8–12 repetisi pada 60–80% dari 1-RM dari lima latihan berbeda (<i>leg press, bench press, leg extension, leg flexion, dan seated row</i>) dengan periode istirahat 90 detik di antara latihan dan set (durasi total 45 menit).</p>	<p>Latihan ketahanan dapat meningkatkan kontrol glikemik pada orang dewasa dengan Tipe 1 diabetes</p>
3	<p>Li, et al. 2024</p>	<p>Kriteria inklusi: Pasien berusia 20–50 tahun dengan BMI <math>\geq 28</math> kg/m<sup>2</sup>, HbA1c 7–9%, dan didiagnosis diabetes melitus tipe 2 dengan perjalanan penyakit <math>\geq 1</math> tahun.</p> <p><i>Pretest/posttest experimental group design</i></p> <p>Evaluasi: Pre dan post 12 minggu intervensi</p>	<p>squat dengan resistance band, dan lakukan fleksi dan ekstensi leher bagian belakang dengan resistance band, 15–20 kali setiap gerakan untuk wanita dan 20–25 kali setiap gerakan untuk pria. 3 set gerakan dengan interval 2–3 menit di antara set. Latihan selama 40 menit setiap kali, dengan target denyut jantung (60–80% dari denyut jantung maksimum) dipertahankan selama 20–40 menit, dan 5 kali latihan dilakukan setiap minggu.</p>	<p>Setelah intervensi, berat badan, BMI, pinggang, TG, TC, LDL, FBG, FINS, HbA1c dan uACR menurun dan GFR meningkat pada kedua kelompok (<math>P &lt; 0,05</math>), tetapi efeknya lebih signifikan pada kelompok latihan ketahanan. GFR meningkat dari <math>92,21 \pm 10,67</math> mL/(min 1,73 m<sup>2</sup>) menjadi <math>100,13 \pm 12,99</math> mL/(min 1,73 m<sup>2</sup>) pada kelompok latihan ketahanan (<math>P &lt; 0,05</math>)</p>
4	<p>Khan KS, Overgaard K, Tankisi H, Karlsson P, Devantier L, Gergersen S, J. et al. 2022.</p>	<p>Kriteria inklusi: Individu berusia antara 18 dan 80 tahun dengan diabetes tipe 2 dan kemampuan untuk mengelola transportasi secara mandiri ke fasilitas pelatihan.</p> <p><i>Posttest experimental group design</i>. Program pelatihan berlangsung selama 12 minggu dengan dua atau tiga sesi per minggu (total 30 sesi direncanakan)</p>	<p>Latihan-latihan tersebut terdiri dari latihan tubuh bagian atas dan bawah, termasuk leg press, bench press, pull-down, knee flexion/extension, ankle plantar dan dorsal flexion, abdominal crunch, dan back extension. Selama kunjungan pertama, satu repetisi maksimum (1RM) dinilai untuk setiap latihan, karena menggambarkan kekuatan dinamis otot yang mendekati maksimal dan memungkinkan perhitungan beban berat yang tepat. Jadwal latihan disesuaikan dengan kebutuhan individu dan beban submaksimal dihitung berdasarkan 1RM individu. Setiap sesi latihan ketahanan didahului dengan pemanasan selama 10 menit pada sepeda ergometer stasioner dengan intensitas sedang.</p>	<p>Progressive resistance training (PRT) meningkatkan kekuatan otot ekstensor dan fleksor lutut dan fungsi motorik pada individu dengan polineuropati diabetik tipe 2 sebanding dengan yang terlihat pada individu dengan diabetes tanpa DPN dan individu kontrol yang sehat,</p>

5	Duan, Y & Lu, G. 2024	Pria penderita diabetes melitus tipe 2 minimal empat tahun. Memiliki pola hidup sedentary dengan usia antara 40-45 tahun dengan Kadar HbA1c 6,5% atau lebih dengan kadar gula darah istirahat berkisar 150 sampai 200 mg/dL	<i>Pretest/posttest experimental group design</i> Evaluasi: Pre dan Post selama 12 minggu intervensi	Program RT mencakup latihan seluruh tubuh, multi-sendi menggunakan mesin dan dumbel pada intensitas 70 hingga 75%, menekankan latihan tubuh bagian bawah. Latihan-latihan ini mencakup leg press, knee extension, knee flexion, dumbbell calf raise, bench press machine, dan Lat pull down selama 30 menit pada minggu ke-1 hingga 42 menit pada minggu ke-12 dengan pengu- langan yang meningkat.	intervensi <i>resistance training</i> secara signifikan meningkatkan <i>Fibroblast growth factor</i> (FGF-21) yang berperan penting dalam meningkatkan penyerapan glukosa manusia (metabolisme glukosa, profil lipid, perubahan hormonal, kekuatan, dan kapasitas
6	Kataoka H, Miyatake N, Murao S, Tanaka S. A. 2018	Pasien dengan diabetes melitus tipe 2 dengan usia 63 tahun, dan durasi diabetes melitus tipe 2 $9,4 \pm 8,2$ tahun yang dirawat di rumah sakit selama 2 minggu	<i>Pretest/posttest experimental group design</i> Evaluasi: Pre dan Post selama 12 minggu intervensi	Program intervensi latihan ketahanan jari kaki. empat latihan ketahanan jari kaki di pagi hari. latihan ketahanan jari kaki sebagai berikut : (1) mengambil handuk menggunakan jari-jari kaki, (2) menekuk jari-jari kaki dengan tabung karet, (3) menekuk jari-jari kaki dengan bola karet, dan (4) memegang tongkat kecil menggunakan jari-jari kaki. Semua prosedur dilakukan 20 kali dengan masing-masing kaki dengan 3 set setiap hari selama 2 minggu.	Setelah program intervensi latihan, TPF dan kualitas otot jari kaki, gaya ekstensi lutut isometrik, dan kualitas otot lutut secara signifikan lebih tinggi pada kelompok intervensi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Latihan ketahanan jari kaki selama dua minggu secara signifikan meningkatkan <i>toe pinch Force</i> (TPF) pada pasien Diabetes Melitus tipe 2.

## PEMBAHASAN

Resistance Treatment (RT) merupakan metode yang efektif untuk mengendalikan kadar FGF-21 dan keseimbangan glukosa, serta untuk menginduksi perubahan hormonal, dibandingkan dengan AT yang lebih cocok untuk memperbaiki profil lipid pada pria yang kelebihan berat badan dengan diabetes melitus tipe 2 (Duan & Lu, 2024).

Tekanan mekanis yang dihasilkan pada serat otot selama latihan ketahanan (RT) dapat memicu peningkatan signifikan dalam mekanisme yang terlibat dalam metabolisme glukosa (Colberg et al. 2010; Duan, Y & Lu, G. 2024), yang mengarah pada penurunan kadar gula darah puasa (FBS) dan Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance (HOMA-IR) sebagai indikator metabolisme glukosa setelah latihan. Selain itu, peningkatan sensitivitas insulin dan penurunan kadar FBS yang terkait dengan RT kemungkinan besar dipengaruhi oleh perubahan FGF-21 dan jalur protein kinase yang diaktifkan AMP (Chavez et al. 2009; Duan, Y & Lu, G. 2024).

Latihan ketahanan memicu aktivasi FGF-21 yang meningkatkan respons insulin pada otot, sehingga meningkatkan metabolisme glukosa (Loyd et al. 2016). FGF-21 dapat memperbaiki homeostasis glukosa sistemik (Saltiel & Kahn, 2001; Duan, Y & Lu, G. 2024) dan mempercepat penyerapan glukosa di otot (Li et al., 2023). Selain itu FGF-21 bekerja pada mitokondria dan retikulum endoplasma untuk mengurangi kerusakan mitokondria dan stres pada retikulum endoplasma, serta mendukung transformasi jenis serat otot (Li et al., 2023).

Efek dari resistance training sebagai jenis modalitas pada kadar glikemik sering kali dapat berlangsung selama beberapa jam setelah latihan selesai karena kebutuhan untuk mengisi kembali simpanan glikogen (Reddy, et al. 2019). Berdasarkan hasil saat ini dan perkiraan repetisi per set berdasarkan intensitas, kisaran 10–15 repetisi mungkin efektif untuk meningkatkan kontrol glikemik pada individu yang berisiko terkena T2D, dengan latihan multi-sendi pada kisaran yang lebih rendah dan latihan satu-sendi pada kisaran yang lebih tinggi (Qadir, et al. 2021). Saran kisaran yang lebih tinggi dengan kisaran yang lebih rendah ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu (Qadir, et al. 2021).

Sebanyak 16 uji coba terkontrol acak menunjukkan dampak RT terhadap fungsi otot, risiko kardiometabolik, kinerja fisik, dan kualitas hidup dengan fokus pada orang dewasa yang lebih tua (rata-rata usia 60 tahun) yang menderita diabetes melitus tipe 2. Temuan dari uji coba ini tidak konsisten, dan efeknya terhadap QoL setelah RT belum sepenuhnya diteliti. Dampak RT terhadap kinerja fisik dan komposisi tubuh dalam sebagian besar uji klinis dilaporkan tidak signifikan. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa RT dapat meningkatkan beberapa aspek QoL pada orang dewasa yang lebih tua dengan diabetes melitus tipe 2 (Hsieh, et al. 2018).

## **KESIMPULAN**

Resistance Treatment (RT) RT merupakan strategi yang menjanjikan untuk meningkatkan kesehatan metabolik secara keseluruhan pada individu terutama pada penderitadiabetes melitus tipe 2 dengan cara meningkatkan kinerja mitokondria otot, meningkatkan regulasi FGF-21 dan meningkatkan massa otot, yang dapat memberikan dampak positif pada respons insulin dan pengendalian glukosa.



### DAFTAR PUSTAKA

- Chandrasekaran P, Weiskirchen R. (2024). The Role of Obesity in Type 2 diabetes melitus-An Overview. *Int J Mol Sci.* 25(3):1882. doi: 10.3390/ijms25031882. PMID: 38339160; PMCID: PMC10855901.
- Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell MC, Dunstan DW, Dempsey PC, et al. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 39(11):2065–79. <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
- Dunstan, D.W., Daly, R.M., Owen, N., Jolley, D., de Courten, M., Shaw, J., Zimmet, P. (2002). High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care,* 25, 1729–1736
- Duan Y, Lu G. (2024). A Randomized Controlled Trial to Determine the Impact of Resistance Training versus Aerobic Training on the Management of FGF-21 and Related Physiological Variables in Obese Men with Type 2 Diabetes Mellitus. *J Sports Sci Med.* 23(1):495-503. doi: 10.52082/jssm.2024.495. PMID: 39228768; PMCID: PMC11366843.
- Hsieh PL, Tseng CH, Tseng YJ, Yang WS. (2018). Resistance Training Improves Muscle Function and Cardiometabolic Risks But Not Quality of Life in Older People With Type 2 diabetes melitus: A Randomized Controlled Trial. *J Geriatr Phys Ther.* 41(2):65-76. doi: 10.1519/JPT.000000000000107. PMID: 27893563
- IDF Diabetes Atlas 10th edition. (2021)
- Jansson AK, Chan LX, Lubans DR, Duncan MJ, Plotnikoff RC. (2022). Effect of resistance training on HbA1c in adults with type 2 diabetes melitus and the moderating effect of changes in muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Diabetes Res Care.* 10(2):e002595. doi: 10.1136/bmjdr-2021-002595. PMID: 35273011; PMCID: PMC8915309.
- Jellinger PS. (2007). Metabolic consequences of hyperglycemia and insulin resistance. *Clin Cornerstone.* 8 Suppl 7:S30-42. doi: 10.1016/s1098-3597(07)80019-6. PMID: 18154189.
- Kataoka H, Miyatake N, Murao S, Tanaka S. (2018). A Randomized Controlled Trial of Short-term Toe Resistance Training to Improve Toe Pinch Force in Patients with Type 2 Diabetes. *Acta Med Okayama.* 72(1):9-15. doi: 10.18926/AMO/55657. PMID: 29463933.
- Keshel TE. (2015). Exercise training and insulin resistance: a current review. *J ObesWeight Loss Ther* 5:228–41. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-7904.S5-003>.
- Kumar A, S, Maiya AG, Shastry BA, Vaishali K, Ravishankar N, Hazari A, Gundmi S, Jadhav R. (2019). Exercise and insulin resistance in type 2 diabetes melitus: A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med.* 62(2):98-103. doi: 10.1016/j.rehab.2018.11.001. Epub 2018 Dec 13. PMID: 30553010.

- Khan KS, Overgaard K, Tankisi H, Karlsson P, Devantier L, Gregersen S, Jensen TS, Finnerup NB, Pop-Busui R, Dalgas U, Andersen H. (2022). Effects of progressive resistance training in individuals with type 2 diabetic polyneuropathy: a randomised assessor-blinded controlled trial. *Diabetologia*. 65(4):620-631. doi: 10.1007/s00125-021-05646-6. Epub 2022 Jan 19. PMID: 35048156.
- Li S, Chen J, Wei P, Zou T, You J. (2023). Fibroblast Growth Factor 21: A Fascinating Perspective on the Regulation of Muscle Metabolism. *Int J Mol Sci*. 24(23):16951. doi: 10.3390/ijms242316951. PMID: 38069273; PMCID: PMC10707024.
- Liu, Y., Ye, W., Chen, Q., Zhang, Y., Kuo, C.-H., & Korivi, M. (2019). Resistance Exercise Intensity is Correlated with Attenuation of HbA1c and Insulin in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 140. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010140>
- Loyd, C., Magrisso, I. J., Haas, M., Balusu, S., Krishna, R., Itoh, N. and Habegger, K. M. (2016) Fibroblast growth factor 21 is required for beneficial effects of exercise during chronic high-fat feeding. *Journal of Applied Physiology*, 121(3), 687-698. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00456.2016>
- Lu, X., Xie, Q., Pan, X. et al. (2024). Type 2 diabetes melitus in adults: pathogenesis, prevention and therapy. *Sig Transduct Target Ther* 9, 262. <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01951-9>
- Motahari-Tabari N, Ahmad Shirvani M, Shirzad-e-Ahoodashty M, YousefiAbdolmaleki E, Teimourzadeh M. (2014). The effect of 8 weeks aerobic exercise on insulin resistance in type 2 diabetes: a randomized clinical trial. *Glob J Health Sci* 7:115–21. <http://dx.doi.org/10.5539/gjhs.v7n1p115>.
- Padhi S, Nayak AK, Behera A. (2020). Type II diabetes melitus: a review on recent drug based therapeutics. *Biomed Pharmacother*, 131:110708. doi: 10.1016/j.biopha.2020.110708. Epub 2020 Sep 11. PMID: 32927252.
- Qadir, R., Sculthorpe, N.F., Todd, T. et al. (2021). Effectiveness of Resistance Training and Associated Program Characteristics in Patients at Risk for Type 2 Diabetes: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med - Open* 7, 38. <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00321-x>
- Reddy R, Wittenberg A, Castle JR, El Youssef J, Winters-Stone K, Gillingham M, Jacobs PG. (2019). Effect of Aerobic and Resistance Exercise on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes*. 43(6):406-414.e1. doi: 10.1016/j.jcjd.2018.08.193. Epub 2018 Aug 30. PMID: 30414785; PMCID: PMC6591112.
- Strasser B, Pesta D. (2013). Resistance training for diabetes prevention and therapy: experimental findings and molecular mechanisms. *Biomed Res Int*. 2013:805217. doi: 10.1155/2013/805217. PMID: 24455726; PMCID: PMC3881442.