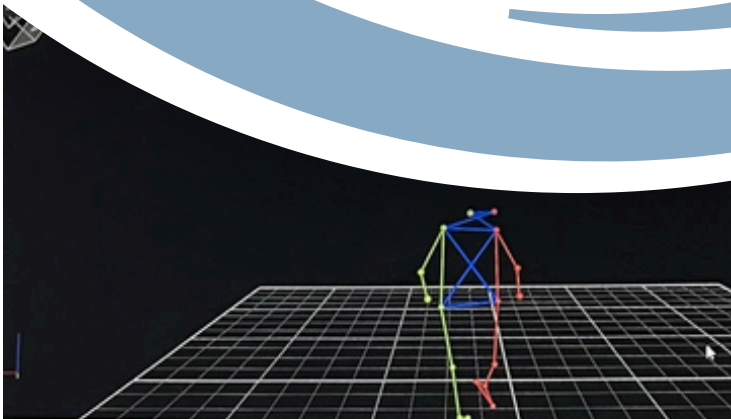




Análisis comparativo de la marcha y la percepción sensitiva-sensorial en pacientes mayores con diabetes tipo II respecto a un grupo control - CENUR Paysandú 2024

Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis del Movimiento, CENUR L.N., Paysandú, Universidad de la República, Uruguay

Ciclo de Metodología Científica II 2024 - Grupo 119.



Autores:

Br. Aguiar Carolina
Br. Caporale Bautista
Br. Mendaña Bruno
Br. Pereira Camila
Br. Sawczuk Pedro
Br. Torres Mathias

Orientadores:

Prof. Agdo. Dr. Carlo Biancardi
Prof. Adj. Dra. Renata Bona
Prof. Asistente Gonzalo Giannechini.

1 Ciclo de Metodología II 2024 - Facultad de Medicina - CENUR Litoral Norte - Universidad de la República.

2 Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis de Movimiento (LIBIAM). Departamento de Ciencias Biológicas - CENUR Litoral Norte

Índice

Resumen.....	4
Abstract.....	4
Introducción.....	6
Hipótesis.....	10
Objetivos.....	10
Objetivo general:.....	10
Objetivos específicos:.....	10
Métodos.....	11
Resultados.....	16
Discusión.....	23
Conclusión.....	27
Bibliografía.....	27
Agradecimientos.....	30
Anexo 1:.....	31
Anexo 2:.....	35
Anexo 3:.....	39

Índice de tablas

Tabla I.....	17
Tabla II.....	18
Tabla III.....	19
Tabla IV.....	19
Tabla V.....	20
Tabla VI.....	21
Tabla VII.....	22

Índice de figuras

Figura 1.:.....	18
Figura 2.:.....	20
Figura 3.:.....	21
Figura 4.:.....	22
Figura 5.:.....	23

Abreviatura	Significado
DM	Diabetes Mellitus
DM2	Grupo diabéticos
C	Controles
SPPB	Prueba funcional y de equilibrio
CM	Centro de masa
min	Minuto
seg	Segundo
V1	Velocidad 1
V2	Velocidad 2
VAS	Velocidad autoseleccionada
V4	Velocidad 4
V5	Velocidad 5
VO ₂	Consumo de oxígeno
Ls	Longitud de ciclo
Fs	Frecuencia de ciclo
Ts	Tiempo de ciclo
COT	Costo de transporte
HbA1c	Hemoglobina glicosilada

Resumen

La diabetes mellitus tipo II es una patología crónica que genera cambios sensitivo-sensoriales y motores.

Entre estas afectaciones se encuentra la marcha y el equilibrio, predisponiendo a mayor riesgo de caídas y fracturas, afectando la calidad de vida de quienes la padecen. Debido a la frecuencia de alteraciones de la marcha en adultos mayores, se han desarrollado diferentes protocolos para la evaluación de parámetros de la marcha, incluyendo: gasto energético, parámetros espacio-temporales como la velocidad y frecuencia de ciclos de paso o zancada, y mecánicos.

El objetivo de esta investigación fue analizar la marcha y la percepción sensitivo-sensorial en personas con diabetes mellitus tipo II. La muestra estuvo conformada por un grupo de 12 individuos, 6 diabéticos (DM2) y 6 controles (C) de entre 64 y 75 años de edad.

El protocolo incluyó una prueba de sensibilidad protectora con monofilamentos (Semmes-Weinstein), test funcional y de equilibrio (SPPB) y pruebas a 5 velocidades sobre una cinta caminadora, calculadas a partir de la velocidad autoseleccionada de cada sujeto. En cada una se estudió parámetros de la marcha incluyendo: velocidad, longitud, frecuencia de ciclo, tiempo relativo de apoyo (duty factor), recovery y costo de transporte. Se utilizó un sistema de captura de movimiento y un analizador de gases portátil.

Se realizó una comparación de los parámetros evaluados entre ambos grupos.

Los resultados mostraron diferencias significativas en cuanto a velocidad, frecuencia del ciclo y tiempo relativo de apoyo, evidenciándose de esta forma que la diabetes mellitus tipo II es determinante de repercusiones en la marcha.

Debido a esto se considera de gran importancia el estudio de esta patología y sus repercusiones con el fin de aportar avances en lo que respecta a la rehabilitación clínica y de esta forma contribuir en el conocimiento de la locomoción humana.

Palabras clave: Diabetes, Análisis de marcha, Costo metabólico, Sensibilidad protectora, Capacidad funcional, Biomecánica.

Abstract

Type II diabetes is a chronic condition that causes sensitive-sensory and motor changes. Among these we found gait and balance alterations, which can lead to

higher risks of falls and fractures, affecting the quality of life of people suffering from them. Due to the relevant prevalence of walking alterations in older adults, various protocols for the evaluation of gait parameters have been developed, including energy expenditure, spatiotemporal parameters such as speed and stride frequency, and mechanical factors.

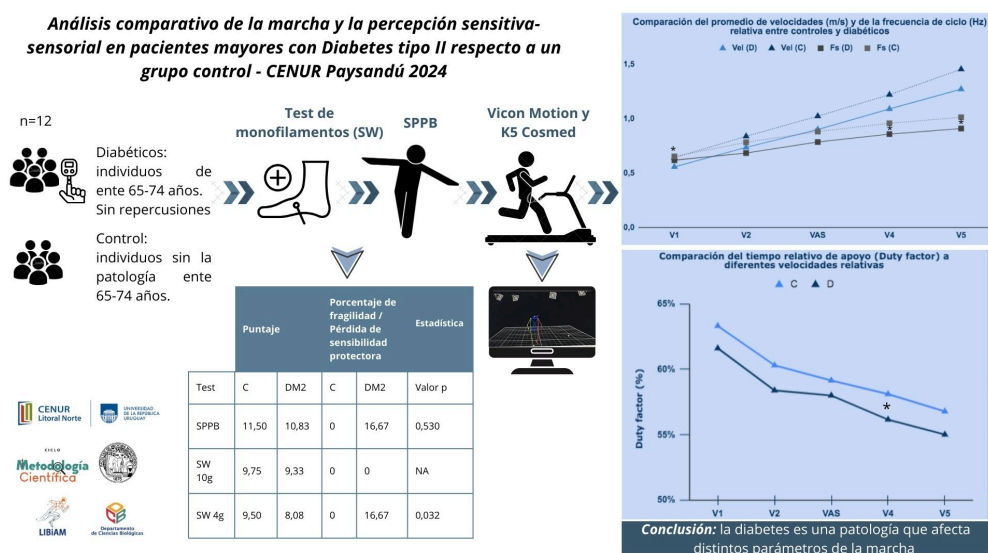
The objective of this project was to analyze gait and sensory perception in individuals with type II diabetes. The sample consisted of a group of 12 individuals, 6 diabetic (DM2) and 6 control (C), aged between 64 and 75 years.

The protocol included a protective sensitivity test using monofilaments (Semmes-Weinstein), functional and balance tests (SPPB), and walking tests at 5 different speeds on a treadmill. Speeds were calculated from the self-selected speed of each subject. In each test, gait parameters were studied, including speed, stride length, stride frequency, relative support time (duty factor), energy recovery, and cost of transport. A motion capture system and a portable gas analyzer were used.

A comparison of the evaluated parameters between groups was performed. The results showed significant differences in speed, stride frequency, and duty factor, indicating that diabetes has a determining effect on gait.

For this reason, the study of this illness and its repercussions is considered highly important to contribute to advancements in clinical rehabilitation, thereby enhancing the understanding of human locomotion.

Key words: Diabetes, Gait analysis, Metabolic cost, Protective sensibility, Functional test, Biomechanics



Introducción

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad crónica no transmisible, que presenta elevada prevalencia y morbilidad tanto a nivel mundial como en nuestro país. A nivel global se puede ver que sigue una tendencia de aumento, tal es así, que la proporción de personas mayores de 60 años de edad que padecen esta patología aumentó de un 9% en el año 1994, a un 12% en 2014. Siguiendo esta tendencia, se espera que el porcentaje de personas portadoras alcance un 21% para el año 2050. Se estima que un 8,2% de la población uruguaya padece DM, y de estos un 20% no tiene diagnóstico de la enfermedad (1;2). De acuerdo con un estudio realizado por la Organización Panamericana de Salud (OPS) en 2019, en Uruguay hubo un total de 1003 muertes que se le atribuyen a esta enfermedad. Un aspecto importante a destacar en vistas a lograr un diagnóstico oportuno, con todos los beneficios que esto conlleva, es que la edad de presentación más común en esta patología se ubica entre los 40 y 60 años (3).

Esta es una patología dada por alteraciones metabólicas que llevan a una hiperglucemia crónica, la cual puede deberse a un defecto en la secreción de la insulina, en la acción de ésta, o a ambas. Existen dos tipos: 1 y 2; la diabetes mellitus tipo 1 se presenta fundamentalmente en pacientes jóvenes, debiéndose a una alteración en la síntesis de insulina ocasionada por una reacción autoinmune del cuerpo contra el páncreas (4).

Este trabajo se centró en la diabetes mellitus tipo 2, según la Organización Mundial de la Salud “generalmente en adultos, que ocurre cuando el cuerpo se vuelve resistente a la insulina o no produce suficiente insulina” (4).

Los factores determinantes de la enfermedad son variados e interactúan entre sí, incluyendo: estilo de vida del paciente, entorno físico y sociocultural, genéticos y epigenéticos (5).

Se realiza el diagnóstico de la enfermedad cuando la glucemia adopta valores superiores a 126 mg/dL en ayunas teniendo en cuenta el resultado de dos mediciones; ≥ 200 mg/dL postprandial a través de una prueba de tolerancia oral a la glucosa (PTOG), hemoglobina glicosilada $\geq 6,5\%$ o una glucemia al azar ≥ 200 mg/dL asociada a síntomas que constituyen el síndrome diabético

precoz(5).

Es crucial contemplar las complicaciones de la enfermedad, dado que implican la afectación de diversos órganos y tejidos, entre ellas la neuropatía periférica, que involucra trastornos en la sensibilidad, marcha y equilibrio de la población que padece la patología. Estos problemas de movilidad pueden afectar la calidad de vida de los pacientes (6).

La marcha, es el medio de locomoción más utilizado por los animales terrestres para su transporte. El mismo consta del movimiento cíclico y coordinado de los miembros inferiores. Los distintos ciclos y fases de la marcha consisten en la aceleración, deceleración y reposicionamiento de los segmentos corporales que permiten el desplazamiento del centro de masa (CM). Un ciclo de marcha va desde el apoyo del talón de uno de los pies hasta el apoyo del talón del mismo pie, por lo que un ciclo está compuesto por dos pasos: un paso derecho y uno izquierdo, que comprenden desde el apoyo del talón hasta el despegue del suelo de los dedos del pie. Este proceso se divide en fases: dos de doble apoyo y dos de apoyo simple. La fase de doble apoyo es aquella en la que ambos pies están en contacto con el suelo, mientras que la fase de apoyo simple es aquella dada cuando solo un miembro está en contacto con la superficie. Entre estas existe una fase de balanceo, la cual consiste en el desplazamiento del CM de un punto de apoyo al punto de apoyo contralateral.

El desarrollo de la marcha está dada por la contracción coordinada de los músculos implicados y la formación de ángulos en las distintas articulaciones, lo cual conlleva un gasto energético (7;8).

El análisis de las variables espacio-temporales de la marcha permite un estudio detallado de este modo de locomoción. Grandes estudios y trabajos de investigación analizan las variables espacio-temporales de la marcha, tales como la longitud, tiempo de paso y de zancada, tiempos de apoyo y de balanceo, así como la cadencia de pasos y la velocidad (9).

En estudios anteriores, se planteó que la diabetes tiene repercusiones importantes sobre la marcha, generando en los pacientes portadores de la enfermedad un riesgo 15 veces mayor de caídas. Esto implica daños tanto físicos

como sociales para la persona damnificada (6).

Desde el punto de vista biomecánico el pie sufre cambios en personas con diabetes, generando trastornos en el equilibrio y movilidad, alterando el trabajo en conjunto entre músculos y articulaciones en las diferentes acciones motoras (10).

Entre las causas de la mayor inestabilidad se encuentran las alteraciones fisiológicas de la enfermedad, existiendo una reducción de la síntesis global proteica lo que genera una pérdida de masa muscular con respecto a las personas no diabéticas. Asimismo, entre estas se encuentra el aumento de la resistencia vascular endotelial, que conlleva a su vez a una disminución del flujo sanguíneo hacia los nervios sensitivos y motores en los miembros inferiores (11). Estas alteraciones predominan en los pacientes que desarrollan neuropatía con respecto a los que no tienen esta complicación (12).

Una de las consecuencias de la evolución natural de la DM es la polineuropatía sensitiva y motora, que en su conjunto se conoce como neuropatía periférica. Esta afecta diversas estructuras como fibras nerviosas implicadas en la transmisión del dolor, motoneuronas y el sistema nervioso autónomo, llevando a trastornos como ardor, hormigueo y dolor, así como también la pérdida de sensibilidad y de reflejos de los miembros inferiores. Estas alteraciones conllevan al daño del sistema neuromuscular, con la alteración en la biomecánica de los miembros inferiores entre ellos cambios en la distribución de presión plantar en comparación a individuos sanos. Dichas repercusiones provocan una disminución de la velocidad autoseleccionada (VAS) de la marcha y un mayor gasto energético - metabólico a misma velocidad.

La prevalencia de neuropatía en pacientes con DM2 llega hasta un 50% después de 10 años desde el diagnóstico.

La evaluación de los diferentes parámetros implicados en la marcha y el equilibrio ha demostrado alteración en estos pacientes, con la consiguiente predisposición a caídas y fracturas (12, 13).

La motilidad es un aspecto fundamental ya que como se mencionó anteriormente además de la implicancia que tiene su alteración en la calidad de vida de los

individuos, el ejercicio físico y la movilidad es pilar fundamental en el tratamiento higiénico dietético de la enfermedad (5). Se debe tener en cuenta que la patología estudiada no es el único factor que se asocia a la afectación de la marcha y el equilibrio, la limitación de la movilidad se puede deber a cambios asociados al envejecimiento, por lo que es importante estudiar poblaciones homogéneas para evitar interferencias en cuanto a los factores que influyen en los parámetros a estudiar (10).

En una revisión sistemática publicada por la sociedad italiana de diabetología en el año 2020, se evidenció que la DM2 causa alteraciones específicas en el rendimiento físico comparado con personas de similares características que no la padecen. Estos reportan que la fatiga es la principal limitación al momento de realizar ejercicio físico. También se vió que la glicosilación de estructuras musculoesqueléticas, causada por la hiperglucemia crónica genera endurecimiento de los tendones, aumentando de esta forma el gasto energético y la limitación de la actividad física. Otro aspecto relevante es que la actividad física realizada por pacientes con DM2 sin supervisión podría llevarse a cabo a una menor intensidad, reduciendo los beneficios esperados del ejercicio (14).

Una investigación reciente, realizada por Chantal M. Hulshof y colaboradores, publicada en octubre de 2024, estudió la asociación entre la neuropatía periférica y la calidad de la marcha, mostrando que la primera se asocia con una menor velocidad y simetría en dirección vertical de la marcha así como afectación en el tiempo de apoyo, conduciendo a inestabilidad en la pierna inferior y a una peor calidad de la marcha. Esto se explica por la propiocepción deteriorada, debilidad en los músculos y retardos en la activación muscular.

Los parámetros anteriormente descritos se asocian con una mayor mortalidad y enfermedades cardiovasculares, por lo que los mismos pueden ser utilizados como biomarcadores en personas diabéticas (15).

En otro estudio llevado a cabo por Xiaoyan Jiang y colaboradores, publicado en 2022, donde se estudiaron dos grupos, uno control y otro con polineuropatía diabética, se encontraron diferencias significativas en diferentes parámetros estudiados, siendo mayor la longitud, velocidad de zancada, fase balanceo en el grupo control. Sin embargo, la fase de apoyo y doble apoyo son mayores en el

grupo con polineuropatía.

Se evaluó la posición de pie con los ojos abiertos y ojos cerrados, observando que el rango de balanceo de tobillo y de la cadera anterolateral y anteroposterior de balanceo de centro de movimiento fue mayor en los pacientes con polineuropatía en la primera, mientras que en la última fue mayor en los sujetos sanos (16).

Extrapolar resultados de una población a otra no siempre da resultados representativos, por lo que se consideró apropiada la realización de este tipo de estudio en una muestra tomada de la población de Uruguay dado que no hay antecedentes en dicha región.

Si bien estos aspectos ya han sido abordados por separado en estudios anteriores, se consideró de importancia la evaluación en conjunto dado que podría determinar avances significativos en los factores que determinan los distintos modelos de la locomoción humana, lo cual será de gran valor en el abordaje de la economía de la marcha en la rehabilitación clínica.

En este proyecto se propuso estudiar la afectación de la DM2 en la sensibilidad, equilibrio y marcha de la población que padece la enfermedad y compararlo con un grupo control.

Hipótesis

Los parámetros mecánicos, energéticos, sensitivos y sensoriales de los pacientes diabéticos difieren significativamente respecto a los parámetros del grupo control.

Objetivos

Objetivo general:

Analizar la marcha y la percepción sensitivo-sensorial en adultos mayores con diabetes tipo II y compararlo con un grupo control.

Objetivos específicos:

- Estudiar parámetros sensitivo-sensoriales en la muestra de estudio.

- Estudiar parámetros temporoespaciales de la marcha en la muestra de estudio.
- Estudiar los parámetros mecánicos de la marcha en la muestra de estudio.
- Estudiar el gasto energético a través de calorimetría indirecta.
- Realizar un análisis comparativo de los parámetros entre los pacientes con diabetes mellitus tipo II y el grupo control.

Métodos

Este estudio tuvo un diseño transversal, analítico, observacional.

Se realizó un llamado a voluntarios a través de medios de difusión incluidos posters en los centros educativos del CENUR Litoral Norte, redes sociales, radio, televisión y periodico local. Se reclutaron un total de 12 individuos con DM2. Por cada diabetico que participó del estudio (Grupo DM2) se buscó un control no diabetico (Grupo C). La media de edad del grupo DM2 fue de $71,3 \pm 3,4$ años, mientras que la del grupo C fue de $68,8 \pm 3,4$ años . Con respecto a la media de altura, en los DM2 fue $164,3 \pm 4,4$ cm y de $158,4 \pm 8,4$ cm en el grupo C. En cuanto a la media de peso de los DM2 fue de $73,3 \pm 11,6$ kg y el IMC fue $27,3 \pm 3,9$ kg/m². En los C, fueron de $67,9 \pm 7,7$ kg y $27 \pm 2,3$ kg/m² respectivamente. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros de la muestra (Test *t* de Student).

La participación fue voluntaria y los C fueron seleccionados tomando en cuenta las características de los diabéticos, priorizando la homogeneidad en edad y masa, con motivo de eliminar posibles variables que interfieran a la hora de evaluar los parámetros estudiados.

Ante cualquier situación de malestar físico y/o descompensación médica el laboratorio contó con la cobertura de una emergencia médica a disposición (SIET, Sistema Integral de Emergencia y Traslado), teléfono: 4722 3228, Av. 18 de Julio 1234, con atención 24h).

Criterios de exclusión:

- Glucemia < 90 mg/dl y > 250 mg/dl (tomados en el momento con hemoglucotest).
- Úlceras o heridas en MMII (pie).
- Problemas cardiacos, enfermedad neuromuscular (neuropatía periférica).
- Retinopatías.

- Amputaciones.
- Enfermedad renal crónica (ERC) o hemodializados.
- Encontrarse en condición de obesidad grado II (IMC > 35).

La evaluación de los individuos se llevó a cabo en una sesión única de cuatro fases:

1) **Anamnesis y valoración del sujeto**

Se interrogó a los individuos con el fin de conocer su estado con respecto a los criterios de inclusión y exclusión del estudio. Para ello se utilizó una ficha patronímica que incluyó: nombre, edad y fecha de nacimiento.

Se procedió a indagar acerca del método diagnóstico de DM utilizado en cada caso, el contexto de dicho diagnóstico y tiempo desde el mismo. También las repercusiones (criterios de exclusión) y el tratamiento actual de la enfermedad, medicamentos de uso habitual y su control metabólico.

Se consideraron asimismo los antecedentes quirúrgicos.

Fueron tomadas y valoradas distintas variables que podrían afectar la realización del estudio sobre la cinta caminadora, así como también la interpretación de los parámetros de interés. Las variables antes mencionadas fueron la glucemia (hemoglucotest), toma de la presión arterial (esfigmomanómetro) y medidas antropométricas (peso y altura). Cabe destacar que ante valores de glucemia alterados, hipotensión (menor a 90/60 mmHg) o hipertensión (mayores a 160/90 mmHg) y/o medidas antropométricas que cumplan con los criterios de exclusión, el estudio no se habría realizado para ese individuo.

2) **Evaluación de capacidad motora y sensibilidad periférica**

Para la evaluación de la capacidad motora se ejecutó el test funcional y de equilibrio (SPPB) en cada sujeto, la misma es de utilidad para la comparación de la afectación sensorial de los individuos con la enfermedad y el C. La variable es cualitativa, en escala ordinal, siendo los posibles valores entre 0 (valor más bajo) y 12 (valor más alto). Una puntuación por debajo de 10 indica fragilidad y un elevado riesgo de discapacidad, así como de caídas. El test consistió en 3 pruebas: una prueba de equilibrio, una prueba de velocidad de marcha y una prueba de levantarse de la silla.

La prueba de equilibrio consistió en 3 etapas, al lograr cada una de las etapas se pasó a la siguiente. En el caso de que el voluntario no hubiera sido capaz de

realizar una de las etapas, la conducta fue proseguir directamente a la siguiente prueba del test.

La primera etapa consistió en mantenerse de pie durante 10 segundos (seg) con los pies juntos. De lograr esto, el sujeto sumaba un punto en el test.

La segunda etapa se basó en mantenerse de pie por 10 seg pero a diferencia de la etapa anterior, los pies debían estar en posición de semi-tándem, es decir que el talón de un pie debía estar a la altura del dedo gordo del otro pie. Si se logró realizar esta etapa con éxito se sumó un punto al test.

La tercera etapa consistió en mantenerse de pie por 10 seg con los pies en posición de tándem, es decir tocando el talón de un pie con la punta del pie contralateral. En caso de realizada la prueba con éxito se sumaron dos puntos al test. Si el paciente logró mantenerse de pie en esta posición durante 3 a 9,99 seg se sumó un punto al test.

La siguiente prueba fue la velocidad de marcha. Se midió el tiempo que el voluntario empleó en caminar 4 metros a un ritmo normal. Esto se realizó dos veces y se tomó el mejor tiempo. Se sumaron 4 puntos al test si la demora fue menor de 4,82 seg; tres puntos si el tiempo fue de 4,82 a 6,20 seg; dos puntos si resultó entre 6,21 a 8,70 seg; un punto si fue mayor a 8,70 seg. Si el participante no lograba realizar la prueba, no obtenía ningún punto para el test.

La última prueba fue la de levantarse de la silla. Para la misma primero se le pidió al voluntario que se cruce de brazos sobre su pecho estando sentado en una silla y que intente levantarse en esa posición. De lograrlo se procedió a la realización de la prueba. Para ello el sujeto debió sentarse y levantarse de la silla 5 veces lo más rápido posible con la posición de brazos antes mencionada. Si se lograba realizar en 11,19 seg o menos, se sumaban cuatro puntos al test; se sumaron tres puntos si se demoró entre 11,20 y 13,69 seg; fueron dos puntos si la demora fue de 13,70 a 16,69 seg; un punto si se demoró más de 16,70 seg. En el caso de que la duración de la prueba hubiera sido más de 60 segundos o de no haber podido realizarse, se sumaban 0 puntos para el test (13).

La sensibilidad periférica fue evaluada mediante una prueba con monofilamentos (Semmes-Weinstein), la cual fue de utilidad para la comparación entre los portadores de DM2 y el C.

Para la realización de esta prueba se ubicó al sujeto en decúbito supino en una posición cómoda para la evaluación y con los ojos cerrados o vendados para

evitar sesgos en la respuesta del voluntario.

Previo a la ejecución de la prueba se le explicó a la persona el procedimiento y se le enseñó el dispositivo a utilizar, se realizaron breves ensayos previos sobre su antebrazo o mano con el fin de demostrar diferencias entre sensación normal e indolora.

Se evaluaron 10 puntos mediante la aplicación del monofilamento, incluyendo: pulpejo del primer dedo, pulpejo del tercer dedo, pulpejo del quinto dedo, primer metatarsiano, tercer metatarsiano, quinto metatarsiano, parte externa del centro del pie, parte interna del centro del pie, talón, dorso del pie, entre el primero y segundo dedo. Estos puntos representan diferentes nervios periféricos y dermatomas.

Las evaluaciones se realizaron con monofilamentos de 10 g y 4 g, tanto en pie izquierdo como derecho.

En la evaluación de cada uno de los puntos se realizaron 3 aplicaciones (primera, segunda y tercera) donde el sujeto respondió si/no, dependiendo si percibió o no cada una de ellas.

El umbral de respuesta se evaluó en base al número de respuestas positivas en relación al total de aplicaciones, un total de 4 respuestas negativas o más, se interpretó como una alteración en la sensibilidad periférica (17).

3) Preparación del sujeto para la recolección de datos sobre la cinta caminadora

Se preparó a los sujetos para la toma de datos espirométricos y cinemáticos. Para el primero, el flujo de aire espirado, se colectó a través de una mascarilla conectada a un flujómetro y a un analizador de gas (Cosmed K5), que los sujetos llevaron en un arnés especial.

En la recolección de datos para las variables cinemáticas se colocaron 18 marcadores reflexivos para la detección del movimiento con cinta adhesiva, en especiales puntos anatómicos: 2 en la cabeza; 2 en el acromion; 2 en los codos; 2 en las muñecas; 2 en los trocánteres mayores; 2 en las rodillas; 2 en los maléolos laterales; 2 en los talones; 2 en los 5º metatarsales. El sistema de captura del movimiento utilizó 8 cámaras Vicon Bonita con frecuencia de captura de 100Hz. Ninguna de las cámaras tomó imágenes que permitan el reconocimiento del participante, las mismas únicamente captaron el movimiento de los marcadores reflexivos.

4) **Recolección de datos**

Se tomaron datos de variables cuantitativas continuas, los cuales fueron: Longitud de ciclo, frecuencia de ciclo y velocidad del paso; tiempo relativo de apoyo; porcentaje de recovery y consumo de oxígeno (VO_2).

Se comenzó solicitando a los individuos que se muevan a una velocidad confortable en un pasillo de 5 metros, el participante completó la marcha tres veces y el investigador responsable tomó el tiempo para obtener la VAS.

Fue verificada la velocidad de marcha auto-seleccionada del sujeto a través del promedio de las 3 medidas obtenidas del pasillo. La misma velocidad fue probada en una cinta caminadora. Luego se preparó al sujeto con el equipamiento de espirometría (K5 Cosmed) y marcadores reflexivos. La colecta comenzó con la medida del VO_2 en ortostasis durante 5 min. Con la información de la velocidad autoseleccionada en la cinta, fueron definidas otras cuatro velocidades ($\pm 20\%$, $\pm 40\%$) para las pruebas sobre la cinta caminadora.

El sujeto se desplazó en la cinta por 5 min en cada velocidad. El intervalo de descanso entre las velocidades se realizó hasta que los valores de VO_2 fueron próximos a los valores de ortostasis y que la frecuencia cardíaca fue menor a 100 cpm.

Análisis de las variables espaciotemporales: por convención un ciclo de marcha comienza con el apoyo del talón derecho, y termina con el siguiente apoyo del mismo talón. Se definen longitud de ciclo (L_s) y tiempo de ciclo (T_s) la distancia en metros y el tiempo en segundos entre los dos eventos. La frecuencia de ciclo se calcula como $1/T_s$, mientras que el Duty Factor es dado por la fracción del tiempo T_s en que un pie se encuentra en fase de apoyo.

Análisis de las variables mecánicas: la reconstrucción tridimensional de las coordenadas fue realizada a partir de la localización de los marcadores reflexivos. Los ciclos de locomoción (desde el apoyo de un talón hasta el siguiente apoyo del mismo) fueron detectados y cortados a través del marcador del talón y del quinto metatarsiano. El CM fue reconstruido con método segmental, a través de tablas antropométricas de Winter (18). El recovery se calculó de acuerdo a Cavagna y Kaneko (19).

Análisis de las variables metabólicas: la media de los valores de VO_2 (ml/min) durante la prueba en ortostasis representó el valor "basal", que fue sustraído de cada resultado, obteniendo el flujo neto (ml/min) en cada prueba. En cada prueba se tomó la media de los valores de VO_2 (ml/min) y de RQ (cociente respiratorio) en el último minuto. El valor de RQ determinó el equivalente energético para transformar los mlO_2 en Joules (20).

El VO_2 (ml/min) fue transformado y normalizado por la masa corporal (J/Kg/s). El costo de transporte se obtuvo dividiendo por la velocidad en m/s (J/Kg/m).

Plan de análisis: el análisis estadístico fue efectuado en el paquete estadístico JASP (21).

Se tomó un nivel de significación de $\alpha=0,05$. Se realizó una descripción univariada de las principales variables de estudio mostrando medidas de resumen como media y desvío para las variables cuantitativas, cuya normalidad de la distribución de los datos de las variables fue evaluada con test de *Shapiro-Wilks*. Para las variables cualitativas y ordinales se muestran frecuencias.

Con el fin de comparar las diferentes variables entre ambos grupos se realizó un test de t para muestras independientes para aquellas variables de distribución continua o un test no paramétrico de *Mann-Whitney* para las variables ordinales.

Consideraciones éticas: el proyecto cumplió con los criterios éticos para la protección de los seres humanos que participaron como sujetos en procesos de investigación, por lo que el Comité de Ética en Investigación Institucional del CENUR Litoral Norte aprobó la realización del mismo de acuerdo a lo establecido en el Art. 14 de la Ordenanza Ministerial N° 827 y el decreto 158/19.

Resultados

Test de Semmes-Weinstein

En la evaluación con monofilamentos de 4 gramos, en el grupo de individuos diabéticos un 16,67% del total mostró pérdida de sensibilidad protectora con más de 4 respuestas negativas, mientras que en el grupo C se evidenció que ningún participante superó este número. La diferencia de puntajes entre grupos fue estadísticamente significativa (*U Mann-Whitney*, $W = 31,5$, $p = 0,032$). Con los

monofilamentos de 10 gramos, no se observaron más de 4 respuestas negativas en ninguno de los grupos, entonces no se aplicó el test estadístico (Tabla I).

Test funcional y de equilibrio (SPPB)

Como se muestra en tabla 1, en esta evaluación un 16,67% del total de diabéticos mostró fragilidad con un puntaje menor a 10. En el grupo C ningún individuo obtuvo menos de 10 puntos. La diferencia de puntajes entre grupos no fue en este caso estadísticamente significativa (*U Mann-Whitney*, $W = 22,0$, $p = 0,53$). Esta batería de test incluye una prueba de VAS: en el grupo C el promedio fue de 1,18 m/s, mientras que en el grupo DM2 fue de 1,10 m/s. La diferencia no fue estadísticamente significativa (*t-test*, $t = 0,72$, $p = 0,49$) (Tabla I).

Tabla I. Resultados de test funcional y de equilibrio (SPPB) y test de Semmes-Weinstein (SW).

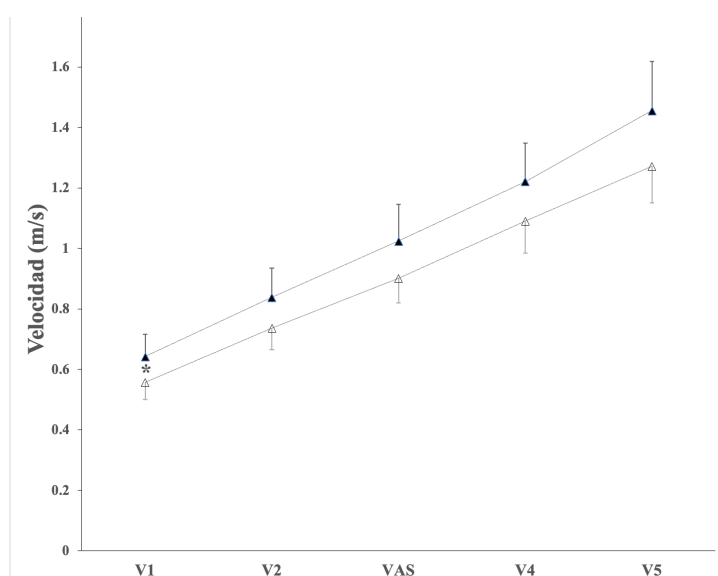
Test	Puntaje		Porcentaje de fragilidad / Pérdida de sensibilidad protectora		Estadística
	C	DM2	C	DM2	
SPPB	11,50	10,83	0	16,67	0,530
SW 10g	9,75	9,33	0	0	NA
SW 4g	9,50	8,08	0	16,67	0,032

Variables mecánicas

En cuanto a la comparación de velocidades entre los grupos se observó una diferencia significativa en V1 (-40%) (*t test*, $t = 2,312$, $p = 0,043$). V2 (-20%) no mostró una diferencia significativa (*t test*, $t = 1,875$, $p = 0,090$), al igual que VAS (*t test*, $t = 2,204$, $p = 0,052$), V4 (+20%) y V5 (+40%) en estos parámetros (*t test*, $t = 2,087$, $p = 0,063$ y $t = 2,153$, $p = 0,057$ respectivamente) (Tabla II, Fig.1).

Tabla II. Comparación del promedio de velocidades (m/s) entre C y DM2.

		C	DM2	Est.(p)
Velocidad (m/s)	V1	0,642 ± 0,074	0,558 ± 0,058	0,043
	V2	0,839 ± 0,097	0,736 ± 0,071	0,090
	VAS	1,024 ± 0,121	0,901 ± 0,082	0,052
	V4	1,222 ± 0,127	1,090 ± 0,106	0,063
	V5	1,456 ± 0,163	1,272 ± 0,121	0,057

**Fig. 1.** Promedio de velocidad y desvío estándar: Triángulos llenos: Controles; Triángulos abiertos: Diabéticos. *: diferencias significativas.

La longitud de ciclo (Ls) no mostró diferencias significativas entre los grupos en ninguna de las velocidades. Siendo los valores *p* de cada una de las mismas: V1 es -40% (*t test*, *t*= 1.613, *p*= 0,138); V2 es -20% (*t test*, *t*= -1.518, *p*= 0,160); VAS (*t test*, *t*= 0.369, *p*= 0,720); V4 es +20% (*t test*, *t*= 0.665, *p*= 0,521); V5 es +40% (*t test*, *t*= 0.607, *p*= 0,557) (Tabla III).

Tabla III. Comparación de longitud (m) de ciclo según velocidad relativa entre C y DM2.

		C	DM2	Est. (p)
Ls	V1	0,989 ± 0,125	0,915 ± 0,153	0,138
	V2	1,078 ± 0,151	1,088 ± 0,167	0,160
	VAS	1,165 ± 0,142	1,152 ± 0,143	0,720
	V4	1,289 ± 0,205	1,269 ± 0,120	0,521
	V5	1,441 ± 0,191	1,399 ± 0,125	0,557

En referencia a la frecuencia de ciclo (F_s), se observó diferencias significativas en las velocidades VAS (*t test*, $t = 2,736$, $p = 0,021$), V4 (*t test*, $t = 2,428$, $p = 0,036$) y V5 (*t test*, $t = 3,293$, $p = 0,008$), a diferencia de V1 (*t test*, $t = 0,147$, $p = 0,886$) y V2 (*t test*, $t = 0,501$, $p = 0,627$), en las que no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla IV, Fig. 2).

Tabla IV. Comparación de frecuencia de ciclo (Hz) según velocidad relativa entre controles y diabéticos.

		C	DM2	Est. (p)
Fs	V1	0,654 ± 0,067	0,619 ± 0,068	0,886
	V2	0,784 ± 0,065	0,685 ± 0,066	0,627
	VAS	0,882 ± 0,065	0,786 ± 0,042	0,021
	V4	0,959 ± 0,085	0,859 ± 0,029	0,036
	V5	1,014 ± 0,055	0,910 ± 0,048	0,008

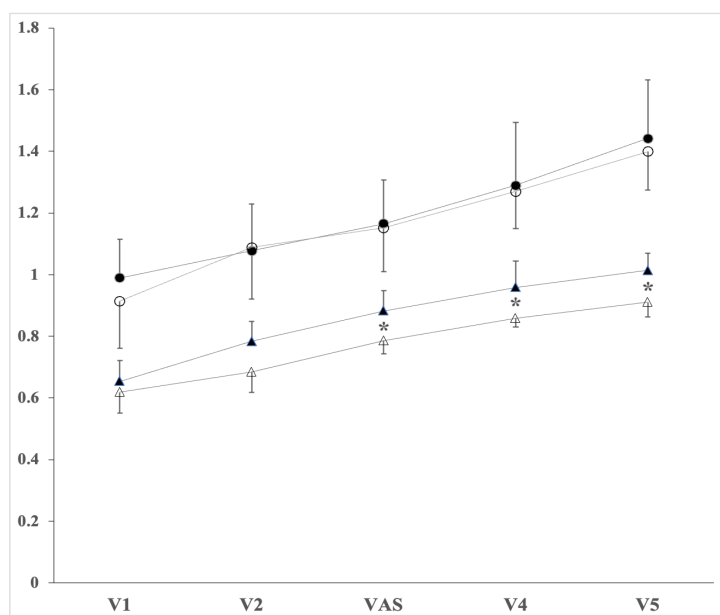


Fig. 2. Promedio de parámetros espacios temporales a diferentes velocidades relativas con desvío estándar: Círculos llenos: Ls Controles; Círculos abiertos: Ls Diabéticos; Triángulos llenos: Fs Controles; Triángulos abiertos: Fs diabéticos. *: diferencias significativas. Unidades: Ls (m); Fs (Hz).

Con respecto al tiempo de apoyo relativo la diferencia estadísticamente significativa se observó en V4 (*t test*, $t = -1,311$, $p = 0,02$), no siendo así en el resto de las velocidades: V1 (*t test*, $t = -0,995$, $p = 0,343$); V2 (*t test*, $t = -0,387$, $p = 0,707$); VAS (*t test*, $t = -0,989$, $p = 0,346$); V5 (*t test*, $t = -1,278$, $p = 0,230$) (Tabla V).

Tabla V. Comparación de duty factor según velocidad relativa entre controles y diabéticos.

	C	DM2	Est. (p)
Duty Factor			
V1	0,616 ± 0,031	0,633 ± 0,032	0,34
V2	0,584 ± 0,025	0,603 ± 0,024	0,70
VAS	0,579 ± 0,023	0,591 ± 0,035	0,34
V4	0,562 ± 0,024	0,581 ± 0,024	0,02
V5	0,550 ± 0,022	0,568 ± 0,035	0,23

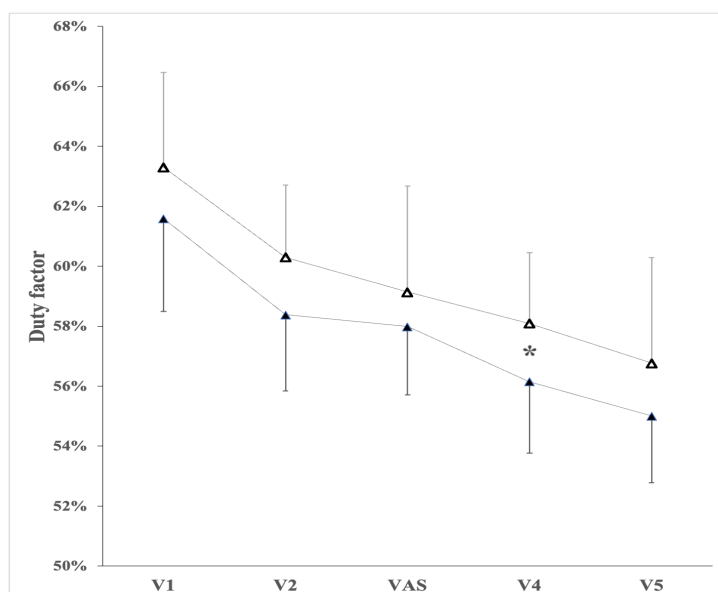


Fig. 3. Tiempo relativo de apoyo (duty factor, promedio y desvío estándar) a diferentes velocidades relativas: Triángulos llenos: Controles; Triángulos abiertos: Diabéticos. *: diferencias significativas.

En relación al recovery no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las velocidades. Siendo los *valores p* de cada una de ellas: V1 (*t test*, $t = -0,291$, $p = 0,777$); V2 (*U Mann-Whitney*, $W = 30,500$, $p = 0,052$); VAS (*t test*, $t = -0,147$, $p = 0,886$); V4 (*t test*, $t = 0,548$, $p = 0,596$); V5 (*U Mann-Whitney*, $W = 17,000$, $p = 0,937$) (Tabla VI).

Tabla VI. Comparación de recuperación de energía mecánica según velocidad relativa entre controles y diabéticos.

		C	DM2	Est. (p)
Recovery	V1	0,376 ± 0,126	0,376 ± 0,137	0,777
	V2	0,423 ± 0,102	0,459 ± 0,135	0,052
	VAS	0,489 ± 0,090	0,484 ± 0,106	0,886
	V4	0,529 ± 0,093	0,509 ± 0,081	0,596
	V5	0,573 ± 0,101	0,563 ± 0,062	0,937

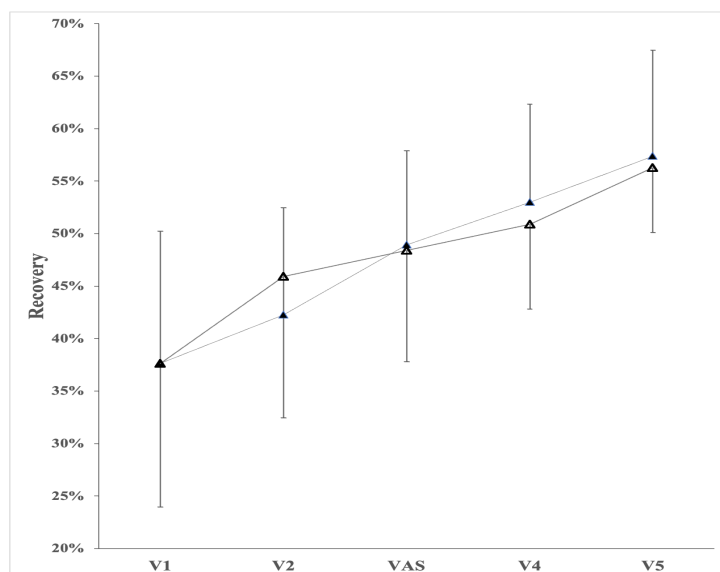


Fig. 4. Promedio y desvío estándar de porcentaje de recovery a diferentes velocidades relativas a diferentes velocidades relativas a diferentes velocidades relativas: Triángulos llenos: Controles; Triángulos abiertos: Diabéticos.

Variable metabólica

En lo que respecta al costo de transporte (COT), no se constataron diferencias estadísticamente significativas. El *valor p* para cada velocidad fueron: V1 (*t test*, $t = 0.076$, $p = 0,941$); V2 (*t test*, $t = 0.587$, $p = 0,570$); VAS (*t test*, $t = 1.309$, $p = 0,220$); V4 (*t test*, $t = 1.041$, $p = 0,322$); V5 (*t test*, $t = 0.727$, $p = 0,484$) (Tabla VII).

Tabla VII. Comparación del costo de transporte (J/kg/m) según velocidad relativa entre controles y diabéticos.

		C	DM2	Est. (p)
COT (J/kg/m)	V1	3,677 ± 0,698	3,634 ± 1,207	0,941
	V2	4,037 ± 1,024	3,694 ± 0,997	0,570
	VAS	4,079 ± 1,021	3,357 ± 0,884	0,220
	V4	4,088 ± 1,129	3,451 ± 0,983	0,322
	V5	3,674 ± 0,694	3,331 ± 0,920	0,484

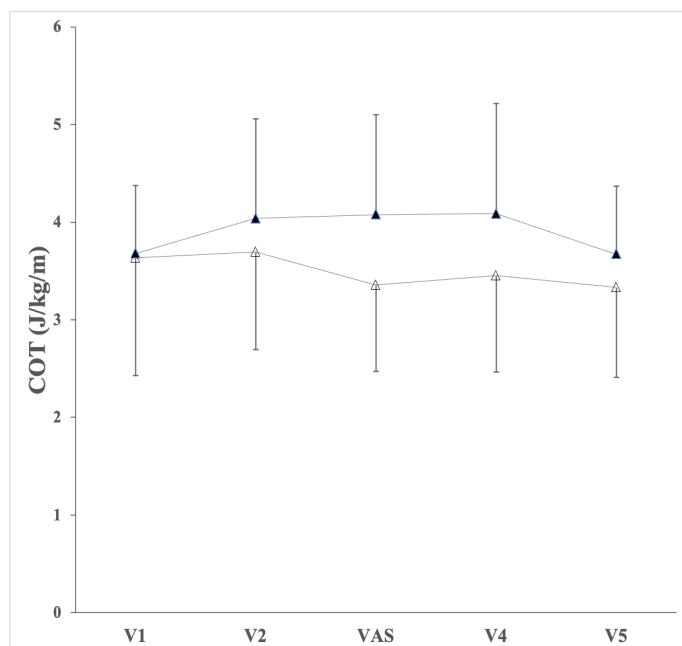


Fig. 5. Costo de transporte (COT) a diferentes velocidades relativas: Triángulos llenos: Controles; Triángulos abiertos: Diabéticos.

Discusión

Obteniendo datos aportados por las diferentes pruebas efectuadas, se logró estudiar los parámetros de la marcha y sensitivo sensoriales planteados al inicio de la investigación. Se realizó un análisis comparativo entre los parámetros de los grupos estudiados de acuerdo a la hipótesis planteada.

En base a los resultados que arrojaron las pruebas con monofilamentos, la diferencia de respuestas negativas en el grupo de individuos DM2 corresponde a una disminución significativa de la sensibilidad periférica con respecto al grupo C con los monofilamentos de 4 gramos. Sin embargo, con los monofilamentos de 10 gramos, no se observaron diferencias.

En un estudio publicado en 2019 por Muideen T. Olaiya et al., en donde se estudió la sensibilidad utilizando el mismo método, pero con monofilamentos de 1, 10 y 75 gramos en 1564 sujetos, se observó que la presencia de neuropatía periférica era un 15.3% mayor en individuos con DM, comparado con individuos sin la patología, siendo esta una diferencia significativa (22).

Si se comparan ambos estudios, el resultado, en lo que respecta a cifras, es similar. No obstante, la media de edad (41.9 años) y las características geográficas difieren entre las poblaciones.

En cuanto al test funcional y de equilibrio (SPPB) no se encontró una diferencia significativa entre el puntaje del grupo DM2 y C . Esto mismo sucedió con la VAS entre el grupo DM2 y C ($p= 0,49$).

En un estudio publicado en 2015 por Ji Won Yoon y colaboradores, participaron 269 sujetos hombres, 79 portadores de DM, a los cuales se les aplicó el SPPB. Se observó que dentro del grupo de participantes DM, el puntaje obtenido en esta prueba fue significativamente menor en individuos con HbA1c mayor a 8,5% que en aquellos con un valor menor (23). A su vez, Lyu Shan et al. publicaron en 2022 una investigación en 250 individuos mayores de 60 años, en las que se estudiaron distintos parámetros de un grupo de individuos diabéticos, pre diabéticos y controles. Entre estos parámetros se encontraba el SPPB. En dicha investigación se demostró que los individuos con mayores niveles de glucosa en sangre (medido por glicemia capilar y hemoglobina glicosilada) presentaban una menor VAS, menor tiempo de balance en las tres poses y mayor tiempo en la prueba de levantarse de la silla. Por lo tanto, los pacientes diabéticos presentaron un puntaje significativamente menor en la prueba funcional y de equilibrio (24).

En otro estudio llevado a cabo por Nancy S. Chiles y colaboradores en 2024, se evaluó la relación entre la DM, neuropatía periférica y la función de las extremidades en 983 individuos mayores de 65 años, entre los cuales un 12,8% eran diabéticos. Para lo mismo se realizó la prueba funcional y de equilibrio (SPPB), en donde se encontró que la población diabética presentaba un puntaje significativamente menor que los pacientes no DM (25).

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados se evidencio que los niveles elevados de glicemia se relacionan con alteraciones en la prueba funcional y de equilibrio. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio pueden estar condicionados por el tamaño de la muestra y los criterios de inclusión que solo admitían pacientes con repercusiones mínimas.

Acerca de las variables mecánicas de la marcha, en la velocidad se observó una diferencia significativamente mayor del grupo C en V1, lo cual no se evidenció en el resto de las velocidades. A pesar de esto último, existen varias investigaciones que relacionan una menor velocidad en la marcha en los individuos DM con respecto a la población sin enfermedad o DM con neuropatía periférica comparado con los que no la presentan (10;11;26;27).

Donde se detectó mayor diferencia significativa fue en la Fs, siendo VAS, V4 y V5 significativamente menores en el grupo DM2. Por lo tanto, a velocidades más altas se demostró que los controles tienen una mayor capacidad de adaptar su frecuencia de paso. En cuanto al tiempo relativo de apoyo, fue significativamente mayor en el grupo DM2 en V4 en comparación con el grupo C. Dicha diferencia no se observó en el resto de velocidades. Esto podría relacionarse con la limitación de los pacientes DM a aumentar la Fs, debido a que la proporción del tiempo en el cuál están en contacto con el suelo en cada ciclo de marcha es mayor.

Estos resultados concuerdan con una investigación realizada por M. Petrovich y colaboradores en 2015 en donde se comparó la Fs de individuos sin DM, con DM sin neuropatía periférica y con polineuropatía. En el mismo se observó que los pacientes con polineuropatía presentaban un valor menor en relación a los demás grupos (28). A su vez, Aline A. Gomes et al., en 2011 investigaron la capacidad de aumentar la Fs en sujetos DM en comparación a un grupo control. En el mismo se observó que los primeros presentaban una menor capacidad de aumento del parámetro estudiado (29).

Por otro lado, Jordi Garcia Ferrer y colaboradores realizaron una revisión sistemática, publicada en 2015, donde se estudió la marcha en pacientes DM en comparación a individuos sin la patología, en el cual se evidenció un mayor tiempo de doble apoyo y se asoció esta alteración a los cambios generados por la presencia de neuropatía (30). Si bien en este estudio se analiza el tiempo relativo de apoyo, el tiempo de doble apoyo es uno de sus componentes fundamentales, pudiendo incidir en los resultados.

Con respecto a las variables mecánicas Ls, recovery y la variable metabólica dada por el costo de transporte, no se observaron diferencias significativas en ninguno de estos parámetros en la comparación de ambos grupos.

En contrapartida a estos resultados, trabajos anteriores han demostrado diferencias significativas en cuanto a la Ls entre los grupos comparados, siendo este menor en individuos DM (30;31). Cabe destacar que la disminución de la Ls se considera una estrategia para lograr estabilidad en individuos con elevado riesgo de caídas, ya que esta conducta provoca un mayor control sobre el CM, lo que disminuye la demanda muscular y el riesgo de caídas (32).

Investigaciones han demostrado un mayor COT en individuos DM en comparación con individuos sin la enfermedad (12;28). Es por esta razón que los DM suelen adoptar menores velocidades de marcha que los no DM, ya que de esta manera, reducen el gasto energético.

El recovery no es un parámetro ampliamente estudiado en otras investigaciones sobre la marcha, por lo que no existen registros de estudio del mismo en la población de DM. Sin embargo, en una investigación publicada en 2024 por Carol M. Torres et al. en Uruguay, en donde se estudiaron a 28 adultos de 18 a 64 años, se observó que el porcentaje de recuperación de energía mecánica (recovery) varía según la edad, siendo significativamente mayor en adultos más jóvenes. Esto indicaría que en adultos mayores existe una menor eficiencia mecánica pendular durante la marcha (33). Si bien en este estudio el recovery no mostró diferencias significativas entre los grupos, hacen falta más investigaciones que consideren otras características de la población diabética para determinar si existe variación en este parámetro.

Estas alteraciones en los parámetros biomecánicos pueden atribuirse como se mencionó anteriormente a una serie de trastornos fisiológicos que comienzan con la hiperglucemia mantenida en el tiempo, que causa glicosilación de estructuras musculoesqueléticas, llevando a cambios en sus propiedades físicas que determinan la variación de su funcionamiento normal. La pérdida de sensibilidad periférica, debida a la misma causa, contribuye a una propiocepción distorsionada que determina cambios en el apoyo y movimientos anormales en los miembros inferiores derivando en una marcha menos efectiva (10,11,12,13). Todo esto podría explicar la diferencia en los parámetros estudiados.

Se destaca la diferencia en los resultados obtenidos con respecto a estudios previos en donde se evaluaron los mismos parámetros. La muestra reducida del estudio debido al tiempo limitado del mismo puede haber interferido en ello, puesto que con un tamaño de muestra más grande podrían encontrarse mayores diferencias en las variables estudiadas.

Por otra parte, los criterios de exclusión utilizados difieren con respecto a los trabajos previos, teniendo este estudio una población objetivo de diabéticos sin

grandes repercusiones, dando lugar a diferencias en las características de la población estudiada y por tanto en los resultados.

Conclusión

Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que hay parámetros mecánicos, sensitivos y sensoriales que difieren en individuos DM2 con respecto al grupo C, cumpliéndose de forma parcial la hipótesis planteada, ya que no se pudieron evidenciar diferencias en parámetros energéticos. Por estas razones se puede afirmar que la Diabetes Mellitus tipo II causa alteraciones en diversos parámetros implicados en la locomoción, siendo fundamental su diagnóstico precoz y tratamiento oportuno para disminuir sus posibles efectos nocivos sobre la marcha. Esto puede ayudar a disminuir caídas, lesiones y hospitalizaciones, logrando una mejor calidad de vida para los individuos con la patología. Se considera también de suma importancia continuar con la realización de estudios similares, ya que se plantea que la población reducida pudo haber afectado en la significancia estadística de parámetros en los cuales se observó que presentaban diferencias entre grupos. Por lo que se contempla que con una muestra más numerosa se podrían obtener resultados más relevantes.

Bibliografía

1. United Nations (Department of Economic and Social Affairs, Population Division). World Population Ageing 2013 [Internet]. New York: United Nations; 2013 [citado 10 octubre 2024]. 95 p. Disponible en: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf>
2. Día mundial de la diabetes – Cruz Roja Uruguay – Sitio web Oficial [Internet]. [citado 26 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://cruzroja.org.uy/dia-mundial-de-la-diabetes/>
3. Perfil de carga de enfermedad por diabetes 2023: Uruguay - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. 2023 [citado 26 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/perfil-carga-enfermedad-por-diabetes-2023-uruguay>
4. Diabetes - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. 2024 [citado 26 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/diabetes>
5. Scribd [Internet]. [citado 26 de mayo de 2024]. Guia-Diabetes 2023 | PDF | Páncreas Endocrino | Sistema endocrino. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/654853793/guia-diabetes2023>.
6. Agostini V, De Luca R, Mansin LC, Knaflitz M. Reduction of gait abnormalities in type 2 diabetic patients due to physical activity: a

- quantitative evaluation based on statistical gait analysis. *J Mech Med Biol*. diciembre de 2012;12(05):1240025.
7. Willems PA, Schepens B, Detrembleur C. Marcha normal. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*. 1 de abril de 2012;33(2):1–29.
 8. Biancardi CM, Bona RL, Hausheer LL. Locomoción humana: modelos y variables biomecánicas. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*. 8 de septiembre de 2020;18(2):e41360–e41360.
 9. Cámara J. Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. *Entramado*. enero de 2011;7(1):160-73.
 10. Guzmán Ortiz E, Salazar González BC. The relationship between level of peripheral sensitivity, obesity and gait and balance parameters in older adults with type-2 diabetes. *Cienc. enferm.* [Internet]. 2016; 22(3): 25-34. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-9553201600300025&lng=en. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95532016000300025>.
 11. de Luis Román D, Garrachón Vallo F, Carretero Gómez J, López Gómez JJ, Tarazona Santabalbina FJ, Guzmán Rolo G, García Almeida JM, Sanz Paris A. La masa muscular disminuida en la diabetes de tipo 2. Una comorbilidad oculta que debemos tener en cuenta. *Nutrición Hospitalaria*. 2023 Jan 1;40(1). Disponible en: <https://www.nutricionhospitalaria.org/articles/04468/show>
 12. Caron N, Peyrot N, Caderby T, Verkindt C, Dalleau G. Effect of type 2 diabetes on energy cost and preferred speed of walking. *Eur J Appl Physiol*. 1 de noviembre de 2018;118(11):2331–8.
 13. Rodríguez-Mañas L, Bayer AJ, Kelly M, Zeyfang A, Izquierdo M, Laosa O, et al. An evaluation of the effectiveness of a multi-modal intervention in frail and pre-frail older people with type 2 diabetes - the MID-Frail study: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*. 24 de enero de 2014;15(1):34.
 14. Moghetti P, Balducci S, Guidetti L, Mazzuca P, Rossi E, Schena F. Walking for subjects with type 2 diabetes: A systematic review and joint AMD/SID/SISMES evidence-based practical guideline. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. octubre de 2020;30(11):1882-98.
 15. Hulshof CM, Van Der Leeden M, Van Netten JJ, Gijssels M, Evers J, Bus SA, et al. The association between peripheral neuropathy and daily-life gait quality characteristics in people with diabetes. *Gait & Posture*. octubre de 2024;114:152-9.
 16. Jiang X, Deng F, Rui S, Ma Y, Wang M, Deng B, et al. The Evaluation of Gait and Balance for Patients with Early Diabetic Peripheral Neuropathy: A Cross-Sectional Study. *RMHP*. marzo de 2022;Volume 15:543-52.
 17. Díaz DCD, Villabona EH, Lemos DMC. La prueba de los monofilamentos: una alternativa para la detección oportuna del riesgo de pie diabético. *Salud UIS* [Internet]. 2 de marzo de 2004 [citado 26 de mayo de 2024];36(1). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/711>
 18. Winter DA. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. En: 1.^a ed. Wiley; 2009 [citado 26 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470549148>
 19. Cavagna GA, Kaneko M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. *The Journal of Physiology*. 1977;268(2):467–81.

20. Prampero PED. La locomozione umana su terra, in acqua, in aria. Fatti e teorie. Edi. Ermes; 2015. 224 p.
- 21.JASP - Free and User-Friendly Statistical Software [Internet]. [citado 26 de mayo de 2024]. Download JASP. Disponible en: <https://jasp-stats.org/download/>
- 22.Olaiya MT, Hanson RL, Kavena KG, Sinha M, Clary D, Horton MB, et al. Use of graded Semmes Weinstein monofilament testing for ascertaining peripheral neuropathy in people with and without diabetes. Diabetes Research and Clinical Practice. 1 de mayo de 2019;151:1–10.
- 23.Yoon JW, Ha YC, Kim KM, Moon JH, Choi SH, Lim S, et al. Hyperglycemia Is Associated with Impaired Muscle Quality in Older Men with Diabetes: The Korean Longitudinal Study on Health and Aging. Diabetes & Metabolism Journal. 31 de marzo de 2016;40(2):140.
- 24.Estudio sobre la correlación entre los niveles de azúcar en sangre y la masa, fuerza y función muscular en personas mayores - Revista China de Medicina Interna [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://rs.yiigle.com/cmaid/1356689>
- 25.Chiles NS, Phillips CL, Volpato S, Bandinelli S, Ferrucci L, Guralnik JM, et al. Diabetes, peripheral neuropathy, and lower-extremity function. Journal of Diabetes and its Complications. 1 de enero de 2014;28(1):91-5.
- 26.Guzmán Ortiz E, Salazar González BC, Guzmán Ortiz E, Salazar González BC. Relación entre el nivel de sensibilidad periférica, obesidad y los parámetros de la marcha y de equilibrio en adultos mayores con diabetes tipo 2. Ciencia y enfermería. septiembre de 2016;22(3):25-34.
- 27.Wang Z, Peng S, Zhang H, Sun H, Hu J. Gait Parameters and Peripheral Neuropathy in Patients With Diabetes: A Meta-Analysis. Frontiers in Endocrinology. 1 de junio de 2022;13:891356.
- 28.Petrovic M, Deschamps K, Verschueren SM, Bowling FL, Maganaris CN, Boulton AJM, et al. Is the metabolic cost of walking higher in people with diabetes? Journal of Applied Physiology. enero de 2016;120(1):55–62.
- 29.Electromyography and kinematic changes of gait cycle at different cadences in diabetic neuropathic individuals - Gomes - 2011 - Muscle & Nerve - Wiley Online Library [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mus.22051>
- 30.García Ferrer J, Hernández Gervilla Ó, Ortas Deunosajut X, Padrós Sánchez C. La marcha del paciente con neuropatía diabética. Articles publicats en revistes (Podologia) [Internet]. septiembre de 2015 [citado 6 de noviembre de 2024]; Disponible en: <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/113427>
- 31.Petrovic M. Biomechanics and the metabolic cost of walking in people with diabetes (Doctoral dissertation, Manchester Metropolitan University and KU Leuven).
- 32.Brown SJ, Handsaker JC, Bowling FL, Boulton AJM, Reeves ND. Diabetic Peripheral Neuropathy Compromises Balance During Daily Activities. Diabetes Care. 12 de marzo de 2015;38(6):1116–22.
- 33.Torres CM, Biancardi C, Pequera G, Barrios GF. Mecánica y energética durante la marcha en cinta caminadora en adultos uruguayos saludables: efecto del IMC y la edad. An Facultad Med (Univ Repúb Urug). 29 de julio de 2024;11(2):e202.

Agradecimientos

Agradecemos al equipo del Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis del Movimiento (LIBIAM) por la oportunidad de sumarnos a su proyecto de trabajo y por los recursos brindados para su realización.

En especial a nuestros orientadores Carlo Biancardi, Gonzalo Giannechini y Renata Bona por su gran disponibilidad y colaboración a la hora de llevar a cabo las diversas actividades, además de los conocimientos brindados.

A todos los voluntarios que participaron de la investigación y a los medios de comunicación por colaborar con la difusión de la investigación para el reclutamiento de voluntarios.

Anexo 1:

Hoja de información

Título: Análisis comparativo de la marcha y la percepción sensitiva-sensorial en pacientes mayores con diabetes tipo II respecto a un grupo control- CENUR Paysandú 2024

Responsables científicos: Gonzalo Gianneechini Carrasco, Renata Bona y Carlo Biancardi.

(Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis del Movimiento, CENUR Litoral Norte,, Paysandú, Universidad de la República)

Investigadores: Aguiar Carolina, Caporale Bautista, Mendaña Bruno, Pereira Camila, Sawczuk Pedro, Torres Mathias.

Contacto de investigador:

Caporale Bautista.

098887621.

Uruguay 817

bautistacapo200010@gmail.com

Contacto de responsable científico:

Gonzalo Gianneechini Carrasco

098725582

gonzalo_giane@hotmail.com

Contacto del laboratorio:

biomecanica@cup.edu.uy

Institución: Facultad de Medicina - CENUR Litoral Norte - Universidad de la República.

Lugar del estudio:

El estudio será realizado en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y

Análisis de Movimiento (LIBiAM) que está ubicado en calle Artigas entre Zorrilla y Montecaseros (ex-terminal).

Resumen:

La diabetes es una enfermedad crónica que genera cambios sensitivo-sensoriales y motores. Tales cambios alteran la marcha, el equilibrio y la sensibilidad de los portadores, predisponiendo a los mismos a un mayor riesgo de caídas. También se ha planteado que ante estas repercusiones se genera un mayor gasto energético durante la marcha, debido a cambios en la velocidad, así como en parámetros específicos de la misma.

El objetivo de este proyecto es analizar la marcha, la sensibilidad y el equilibrio en personas con diabetes tipo II. Se tomarán en cuenta un grupo de personas entre 64 y 75 años de edad con diabetes de tipo II y un grupo control (sin la enfermedad). Se realizarán pruebas en una cinta caminadora a distintas velocidades a cada sujeto y se evaluarán los parámetros de la marcha en un ordenador. También se estudiará la sensibilidad de los individuos a través de una prueba de monofilamentos y el equilibrio a través del test de Guralnik.

Los resultados determinarán avances en el estudio de los parámetros y modelos de control de la locomoción humana, aportando en áreas como la rehabilitación clínica y la ayuda al sujeto en la economía de la marcha.

Objetivos del estudio:

Evaluar la marcha y la percepción sensitivo-sensorial en adultos mayores con diabetes tipo 2 y compararlo con un grupo de sujetos sin diabetes. Mediante diferentes tipos de pruebas y obteniendo resultados.

Comparar los resultados obtenidos de ambos grupos y sacar conclusiones. Dando importancia a las diferencias entre ellos, en caso de que existan.

Criterios de exclusión:

- Glucemia < 90 mg/dl y > 250 mg/dl (tomados en el momento con hemoglucotest).
- Úlceras o heridas en MMII (pie).
- Problemas cardiacos, enfermedad neuromuscular (neuropatía periférica).
- Retinopatías.

- Amputaciones.
- Enfermedad renal crónica (ERC) o hemodializados.
- Encontrarse en condición de obesidad grado II (IMC > 35).

En qué consiste el estudio:

Al llegar al laboratorio se comenzarán con preguntas básicas referidos a la enfermedad y datos del paciente. Luego se le realizará una prueba sencilla para la evaluación de la sensibilidad, equilibrio y marcha.

Para la prueba de sensibilidad se le solicitará al voluntario que se retire su calzado y se usará un instrumento llamado monofilamento para evaluar grados de sensibilidad en distintos puntos del pie mediante toques.

La prueba de equilibrio (SPPB) se realiza pidiendo al voluntario que ejecute maniobras tal como mantenerse de pie en distintas posiciones. Luego se medirá la velocidad a la que camina el voluntario en un pasillo de 4 metros. Por último se le pedirá que se sienta y levante de una silla lo más rápido posible y repetirlo 5 veces. Se medirá el tiempo en el que se realizan todas estas pruebas.

Posteriormente se le colocará al voluntario una mascarilla que permite medir el oxígeno a través de un arnés y 18 marcadores reflexivos en distintas partes del cuerpo que servirán para la grabación con cámaras. Luego se le solicitará al individuo que se suba a una cinta caminadora y camine a 5 velocidades distintas, siendo filmado por 8 cámaras para una reconstrucción digital (proyectado en una computadora) de la marcha (caminata). Ninguna de las cámaras tomará imágenes que permitan el reconocimiento del participante, las mismas únicamente captarán el movimiento de los marcadores reflexivos.

Destacamos que la duración del estudio será de aproximadamente 2 horas.

Ninguno de los procedimientos explicados serán de carácter invasivo.

Participación y confidencialidad:

Frente a cualquier discomfort o problema se puede parar la prueba, no es obligatoria completarla, podrán retirarse de este estudio en cualquier momento que lo deseen sin necesidad de explicar el motivo de su decisión.

Abandonar el estudio no afectará económicamente ni moralmente a la persona así como tampoco la atención médica que requiera a futuro.

La participación en este estudio es completamente voluntaria y por lo tanto no habrá ningún tipo de remuneración o compensación económica por la participación en el mismo.

Los datos personales de los voluntarios sólo serán compartidos durante la anamnesis y los mismos no serán publicados bajo ninguna circunstancia en ningún documento referente a la investigación. Solo serán publicados los datos de las mediciones de las pruebas de forma anónima.

El sujeto tiene derecho a decidir si desea recibir información sobre los resultados de la investigación.

Se informará los plazos con anticipación en los que debe recurrir a realizar las pruebas. El voluntario tiene derecho a realizar consultas con sus familiares y/o médico de referencia para tomar la decisión de participar o no en dicho estudio.

Beneficios y riesgos:

Evaluar estos aspectos en la enfermedad diabetes es de gran importancia, ya que tanto las alteraciones en la marcha como en el equilibrio y la sensibilidad se ven con gran frecuencia, y el ejercicio es uno de los aspectos fundamentales en su tratamiento. Con este estudio los profesionales del área de la marcha podrán desarrollar estrategias para lograr un mejor rendimiento en la actividad física de los sujetos que padecen la enfermedad.

Los riesgos que se corren al participar en este estudio son los mismos que en actividades cotidianas como por ejemplo realizar una caminata.

Puede existir el riesgo de pérdida de confidencialidad.

Se asegurará que el voluntario sometido a las pruebas ya descritas anteriormente en caso de surgir algún riesgo durante las mismas recibirá tratamiento médico.

Antes de iniciar la prueba se realizará un control de glucemia mediante hemoglucotest, y se medirá la presión arterial.

Además de las estrategias expuestas anteriormente, a los efectos de mitigar los riesgos, el laboratorio cuenta con la cobertura de una emergencia médica a disposición (SIET, Sistema

Integral de Emergencia y Traslado), teléfono: 4722 3228, Av. 18 de Julio 1234, con atención 24h).

Anexo 2:

Consentimiento informado

Título: Análisis comparativo de la marcha y la percepción sensitiva-sensorial en pacientes mayores con diabetes tipo II respecto a un grupo control- CENUR Paysandú 2024

Responsables científicos: Gonzalo Gianneechini Carrasco, Renata Bona y Carlo Biancardi.

(Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Análisis del Movimiento, CENUR L.N., Paysandú, Universidad de la República)

Investigadores: Aguiar Carolina, Caporale Bautista, Mendaña Bruno, Pereira Camila, Sawczuk Pedro, Torres Mathias.

Contacto: Caporale Bautista.

098887621.

Uruguay 817

bautistacapo200010@gmail.com

Contacto de responsable científico:

Gonzalo Gianneechini Carrasco

098725582

gonzalo_giane@hotmail.com

Contacto del laboratorio:

biomecanica@cup.edu.uy

Institución: Facultad de Medicina - CENUR Litoral Norte - Universidad de la República.

Resumen:

La diabetes es una enfermedad crónica que genera cambios sensitivo-sensoriales y motores. Tales cambios alteran la marcha, el equilibrio y la sensibilidad de los portadores, predisponiendo a los mismos a un mayor riesgo de caídas. También se ha planteado que ante estas repercusiones se genera un mayor gasto energético durante la marcha, debido a cambios en la velocidad, así como en parámetros específicos de la misma.

El objetivo de este proyecto es analizar la marcha, la sensibilidad y el equilibrio en personas con diabetes tipo II. Se tomarán en cuenta un grupo de personas entre 64 y 75 años de edad con diabetes de tipo II y un grupo control (sin la enfermedad). Se realizarán pruebas en una cinta caminadora a distintas velocidades a cada sujeto y se evaluarán los parámetros de la marcha en un ordenador. También se estudiará la sensibilidad de los individuos a través de una prueba de monofilamentos y el equilibrio a través del test de Guralnik.

Los resultados determinarán avances en el estudio de los parámetros y modelos de control de la locomoción humana, aportando en áreas como la rehabilitación clínica y la ayuda al sujeto en la economía de la marcha.

Beneficios y riesgos:

Con este estudio los profesionales del área de la marcha podrán desarrollar estrategias para lograr un mejor rendimiento en la actividad física de los sujetos que padecen la enfermedad.

Los riesgos que se corren al participar en este estudio son los mismos que en actividades cotidianas como por ejemplo realizar una caminata.

Frente a cualquier discomfort o problema se puede parar la prueba, no es obligatoria completarla, podrán retirarse de este estudio en cualquier momento que lo deseen sin necesidad de explicar el motivo de su decisión.

Se asegurará que el voluntario sometido a las pruebas ya descritas anteriormente en caso de surgir algún riesgo durante las mismas recibirá tratamiento médico.

Antes de iniciar la prueba se realizará un control de glucemia mediante hemoglucotest, y se medirá la presión arterial.

Además de las estrategias expuestas anteriormente, a los efectos de mitigar los riesgos, el laboratorio cuenta con la cobertura de una emergencia médica a disposición (SIET, Sistema Integral de Emergencia y Traslado), teléfono: 4722 3228, Av. 18 de Julio 1234, con atención 24h).

Confidencialidad:

Los datos personales de los voluntarios sólo serán compartidos durante la anamnesis y los mismos no serán publicados bajo ninguna circunstancia en ningún documento referente a la investigación. Solo serán publicados los datos de las mediciones de las pruebas de forma anónima.

El sujeto tiene derecho a decidir si desea recibir información sobre los resultados de la investigación.

Participación:

La participación en este estudio es completamente voluntaria y por lo tanto no habrá ningún tipo de remuneración o compensación económica por la participación en el mismo.

Derechos legales:

El sujeto que no perderá ninguno de sus derechos legales por haber firmado el consentimiento.

El participante decidirá y aclarará si desea recibir información sobre los resultados de la investigación.

Conformidad de participación:

Declaro haber recibido y leído la totalidad de información acerca de la investigación que se va a realizar.

Además de la información, pude satisfacer mis dudas respecto a la misma en su totalidad.

Acepto participar de esta investigación en forma voluntaria, recibiendo copia del documento firmado.

Consentimiento informado ante imposibilidad de leer y/o firmar.

"He dado mi consentimiento verbal de participar en el proyecto y es testigo de ello (nombre) _____ de que otorgué mi

consentimiento por escrito”.

Al firmar este documento otorgo mi consentimiento de participación en el estudio.

Firma del participante _____ Fecha _____

Aclaración _____ C.I. _____

Firma del investigador _____ Fecha _____

Aclaración _____ C.I. _____

La realización de esta investigación fue aprobada por el Comité de Ética y por el Consejo del CENUR Litoral Norte de la Universidad de la República. Ante cualquier consulta al Comité de Ética, dirigirse a eticahumana@litoralnorte.edu.uy , Teléfono 473 34816 - Int. 120)

Anexo 3:

FECHA: ____/____/____

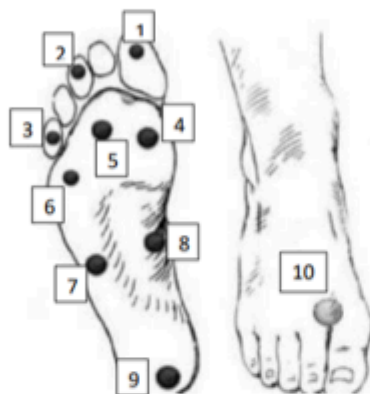
EVALUACIONES DE PARTICIPANTE

1) Evaluación Monofilamento:

Nombre y apellido:

Edad:

Diabético: Si No



Puntos de aplicación del monofilamento.

1. Pulpejo del primer dedo.
2. Pulpejo del tercer dedo.
3. Pulpejo del quinto dedo.
4. Primer metatarsiano.
5. Tercer metatarsiano.
6. Quinto metatarsiano.
7. Parte externa del centro del pie.
8. Parte interna del centro del pie.
9. Talón.
10. Dorsal del pie, entre el primero y segundo dedo.

Pie derecho (10mg)			
Puntos de aplicación	Primera aplicación (Sí/No)	Segunda aplicación (Sí/No)	Tercera aplicación (Sí/No)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Pie izquierdo (10mg)			
Puntos de aplicación	Primera aplicación (Sí/No)	Segundo aplicación (Sí/No)	Tercera aplicación (Sí/No)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Pie derecho (4mg)			
Puntos de aplicación	Primera aplicación (Sí/No)	Segundo aplicación (Sí/No)	Tercera aplicación (Sí/No)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Pie izquierdo (4mg)			
Puntos de aplicación	Primera aplicación (Sí/No)	Segundo aplicación (Sí/No)	Tercera aplicación (Sí/No)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

2) "Short Physical Performance Battery" (SPPB o test de Guralnik)

I. Test de Equilibrio

Posición	Tiempo (segundos) y puntos		TOTAL
	<u>< 10 (0 punto)</u>	<u>10 (1 punto)</u>	
Pie juntos			
Semi-tandem			

Posición	Tiempo (segundos) y puntos		
	<u>10 (2 puntos)</u>	<u>3-9.9 (1 punto)</u>	<u>< 3 (0 punto)</u>
Tándem			

Foto de portada: La fotografía utilizada en la portada de este trabajo fue tomada y utilizada bajo estricto consentimiento del voluntario.