



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

Función cardiopulmonar durante la prueba de
ejercicio en pacientes pediátricos con sobrepeso
y obesidad

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
SUB ESPECIALISTA EN:

NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

PRESENTA:

DR. RUBEN CRUZ REVILLA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ KARAM BECHARA

ASESOR DE TESIS
DR. JOSÉ LUIS LEZANA FERNÁNDEZ
DR MIGUEL KLUNDER KLUNDER




MÉXICO, D. F

Febrero 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE FIRMAS

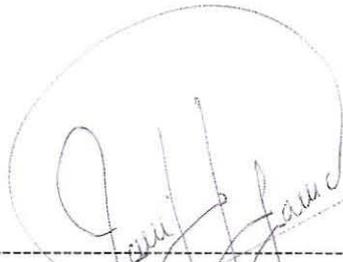
DRA REBECA GOMEZ CHICO VELASCO
Directora de Enseñanza y Desarrollo Académico
Hospital Infantil de México Federico Gómez

DR AARÓN PACHECO RÍOS
Subdirección de Enseñanza y Desarrollo Académico
Hospital Infantil de México Federico Gómez

DR SALVADOR VILLALPANDO CARRIÓN
Jefe del Departamento de Pre y Pos Grado
Enseñanza y Desarrollo Académico
Hospital Infantil de México Federico Gómez



DR JOSÉ KARAM BECHARA
Tutor Académico
Médico Jefe del Servicio de Neumología
Hospital Infantil de México Federico Gómez



DR JOSE LUIS LEZANA FERNANDEZ
Tutor Académico
Médico Adscrito Laboratorio Fisiología Pulmonar
Hospital Infantil de México Federico Gómez



DR MIGUEL KLUNDER KLUNDER
Tutor Metodológico
Departamento de Investigación en Salud Comunitaria
Hospital Infantil de México Federico Gómez

ÍNDICE

	Página
1. Resumen.....	5
2. Marco Teórico y Antecedentes.....	7
3. Planteamiento del Problema.....	17
4. Justificación.....	17
5. Pregunta de Investigación.....	17
6. Objetivos.....	18
7. Hipótesis.....	18
8. Material y Métodos.....	18
9. Resultados	28
10. Discusión.....	41
11. Conclusiones.....	44
12. Bibliografía.....	45
13. Anexos o Apéndices.....	49

1. RESUMEN

Título:

“Función cardiopulmonar durante la prueba de ejercicio en pacientes pediátricos con sobrepeso y obesidad.”

Objetivos:

Primario: Determinar y comparar el consumo de O₂ máximo en pacientes que cursan con obesidad, sobrepeso y eutróficos de acuerdo al índice de masa corporal para la edad y sexo.

Secundarios: Comparar entre los grupos de estudio, los resultados de los siguientes parámetros: VO₂AT/VO₂max, VO₂ en AT, RER en AT y RER máximo. Relación VE/VCO₂, VE/VO₂ a VO₂max y AT. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) medido por espirometría, Ventilación voluntaria máxima (MVV), para obtener índice de disnea y reserva ventilatoria. Presión arterial sistólica y sistólica máximas, así como porcentaje del valor predictivo de la frecuencia cardiaca máxima. Tiempo total prueba y escala pronostica de Weber.

Planteamiento del problema: La obesidad es resultado de un trastorno del equilibrio energético que afecta a gran número de personas pertenecientes a diversos grupos étnicos, edad y nivel socioeconómico. El exceso de peso corporal es reconocido actualmente como uno de los problemas más importantes de Salud Pública en el mundo, dada su magnitud, la rapidez de su incremento y el efecto negativo que ejerce sobre la salud de la población que la padece, Hoy en día, en población mayor de 18 años de edad, México ocupa el segundo lugar de prevalencia mundial de obesidad, después de Estados Unidos de América. En niños el problema crece en magnitud, actualmente el 25% de los niños menores de 18 años en México tienen sobrepeso u obesidad.

Con base en lo anterior planteamos la siguiente pregunta: ¿Hay diferencia en el consumo de oxígeno (VO₂) en niños con edades entre 6 y 16 años con sobrepeso y obesidad comparado con niños eutróficos en el mismo rango de edad?

Metodología: Se realizó un estudio transversal analítico en 3 grupos de pacientes:(eutróficos, sobrepeso y obesidad), a cada uno de los sujetos en los 3 grupos se le realizó espirometría basal, seguida de la prueba de ejercicio cardiorespiratorio. La muestra para este estudio fue de 29 pacientes eutróficos, 30 con sobrepeso y 151 con obesidad. La variable de resultado primario fue la diferencia en el consumo de O₂ a esfuerzo máximo (VO₂max en ml/kg/min) entre cada uno de los grupos. Secundariamente se determinó la asociación entre el VO₂max con el porcentaje de IMC, la relación VO₂AT/VO₂max, relación VE/VCO₂, índices de disnea y reserva ventilatoria, así como tiempo de prueba y escala pronostica.

Análisis:

Se efectuó un análisis descriptivo de todas las variables a fin de identificar la naturaleza de su distribución. Se elaboraron tablas y gráficos con medidas de resumen (proporciones e intervalos de confianza al 95%, para datos categóricos, asimismo los datos continuos se manejaron con estadísticos de tendencia central y dispersión. La comparación de las cifras de los diferentes parámetros de la función pulmonar estudiados entre grupos se analizaron mediante ANOVA de una vía y al encontrarse diferencia se identificaron mediante el análisis pos hoc correspondiente a la distribución de la variable analizada. Asimismo, se obtuvieron las frecuencias de las alteraciones en la función pulmonar entre grupos, analizando su asociación mediante la razón de proporciones. Finalmente, se construyeron modelos multivariados para analizar el efecto de las diferentes variables estudiadas que participan en la función pulmonar, en los que se integraron como variable independiente la clasificación del IMC, y posibles variables confusoras la edad, sexo, metabolismo basal presión arterial, etc. Todos estos análisis se llevaron a cabo con el programa STATA.

Resultados

Se estudiaron 213 pacientes divididos en 3 grupos con 29 pacientes en el grupo eutróficos, 30 en el grupo de sobrepeso y 154 en el grupo de obesidad. El VO₂ Máximo en Litros/minuto mostro relación directamente proporcional al IMC ($p < 0.001$). Sin embargo el VO₂ máximo en mL/Kg/min tuvo una relación inversamente proporcional ($p < 0.001$). Hubo diferencia estadística al comparar entre género masculino y femenino en el grupo de sobrepeso (P de 0.024). y grupo de obesidad ($p < 0.001$). El valor de VO₂ medido en L/min entre grupos en basal y AT fue $p < 0.001$ y en máximo p 0.003 Al compararse los valores de VO₂ medido en mL/Kg/min en los grupos tuvo en etapa basal p 0.777 y en AT y máximo $p < 0.001$. Valores de VCO₂ medido en L/min en las 3 etapas entre los tres grupos tuvo $p < 0.001$ a nivel basal, AT y máximo. VCO₂ en base a mL/Kg/min tuvo relación inversamente proporcional de VCO₂ con respecto a IMC. Valor de RER a nivel de AT y máximo en los 3 grupos $p < 0.001$. Ventilación en descanso, AT y en máxima entre los 3 grupos $p < 0.001$. Medición Ventilación / VO₂ entre los 3 grupos en descanso P 0.002, AT y máximo no significativo. La relación de Ventilación / VCO₂ entre los 3 en descanso p de < 0.001 , AT y máximo no significativo. En tiempo total de prueba en minutos p entre grupos < 0.001 . En medición PAS media entre grupos p fue de 0.372 en PAD fue < 0.001 . En frecuencia cardiaca no hubo significancia estaistica. En índice de reserva ventilatoria entre grupos tuvo $p < 0.001$.

Conclusiones

El VO₂ es directamente proporcional al índice de masa corporal expresado en Litros/minuto, sin embargo el mismo es inversamente proporcional cuando se traduce a mililitros/Kilogramo/minuto. El VO₂ es menor en mujeres en relación a las mujeres lo cual se hace más evidente a mayor carga de trabajo. La obesidad es un factor de riesgo para presentar limitación respiratoria grave.

2. MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES

La obesidad es una de las enfermedades nutricionales de mayor prevalencia en la edad pediátrica, en donde 25-30% de los niños y adolescentes están afectados. (1), siendo este uno de los principales factores determinantes de salud y un fenómeno mundial que incluye tanto a los países industrializados como a los países en desarrollo (2).

La obesidad es un trastorno del equilibrio energético que afectan a gran número de personas pertenecientes a diversos grupos étnicos, edad y nivel socioeconómico. Las causas de la obesidad infantil son múltiples, e incluyen la falta de actividad física regular, el sedentarismo, el consumo excesivo de alimentos ricos en calorías y genéticos (3). Desde el punto de vista conceptual, se define a la obesidad como un exceso de grasa corporal que afecta la salud del individuo (4), siendo a su vez, el resultado de un desequilibrio entre la ingestión y el gasto energético (5). Los métodos disponibles actualmente para la medida directa del compartimiento graso no se adaptan a la práctica clínica de rutina, por esta razón, la obesidad se suele valorar utilizando indicadores indirectos de la grasa corporal obtenidos a partir de medidas antropométricas sencillas. El que se utiliza con mayor frecuencia es el índice de masa corporal (IMC). que es el resultado de dividir el peso en kilogramos por la talla en metros al cuadrado (kg/m^2) (4). Otras de las formas de evaluación incluye las gráficas peso/talla para calcular el peso teórico para cada talla y así cuantificar el grado de sobrepeso (6).

A nivel internacional existe evidencia del limitado éxito a largo plazo de la mayoría de la intervenciones no farmacológicas (dieta, ejercicio, cambio de estilo de vida), tanto en adultos como en niños para lograr disminuir de peso, principalmente en el obeso mórbido, definido como el niño o adolescente con más del 100% del peso promedio que debe tener para la edad, o que este por arriba del percentil 99 según la Centers for Disease Control (CDC) para edad y género (7).

2.1 Epidemiología

El exceso de peso corporal es reconocido actualmente como uno de los retos más importantes de Salud Pública en el mundo, dada su magnitud, la rapidez de su incremento y el efecto negativo que ejerce sobre la salud de la población que la padece, debido a que aumenta significativamente el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles, de hecho se estima que 90% de los casos de diabetes mellitus tipo 2 son atribuibles al sobrepeso y la obesidad.

Hoy en día, México ocupa el segundo lugar en prevalencia mundial de obesidad, después de los Estados Unidos de América. Esta alta prevalencia de

sobrepeso y obesidad representa un problema de salud pública prioritario. La epidemia implica costos significativos para el sistema de salud pública, para la sustentabilidad del régimen de pensiones y para la estabilidad económica y social de la población, especialmente de los sectores más pobres ⁽⁸⁾.

Según la Encuesta Nacional De Salud y Nutrición (ENSANUT) del año 2006 la prevalencia nacional combinada de sobrepeso y obesidad en niños de 5 a 11 años fue de alrededor de 26%, para ambos sexos, 26.8% en niñas y 25.9% en niños, lo que representa alrededor de 4'158,800 escolares en el ámbito nacional con sobrepeso u obesidad. La prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en 1999, bajo el mismo criterio, fue de 18.6% (20.2% en niñas y 17% en niños). Lo que representa un incremento promedio de 1.1 pp/año o 39.7% en tan sólo siete años para los sexos combinados; el aumento en niñas fue de 0.9 pp/año o 33% y en niños de 1.27 pp/año o 52 por ciento. Para únicamente sobrepeso la prevalencia en niños fue de 4.8 pp o 41% y en niñas de 3.8 pp o 27 por ciento. El incremento más alarmante fue en la obesidad en los niños, pasando de 5.3 a 9.4% (77%); en las niñas este aumento fue de 5.9 a 8.7% (47%)

La prevalencia de sobrepeso aumentó progresivamente entre los 5 y los 11 años de edad, tanto en niños (de 12.9 a 21.2%) como en niñas (de 12.6 a 21.8%). Mientras que la prevalencia de obesidad aumentó entre las mismas edades 6.5 pp en niños (de 4.8 a 11.3%) y 3.3 pp en niñas (de 7.0 a 10.3%). Cabe señalar que este último aumento no se comportó de manera sistemática.

En cuanto a los adolescentes, la misma encuesta muestra que uno de cada tres hombres o mujeres tiene sobrepeso u obesidad. Esto representa alrededor de 5'757,400 adolescentes en el país. No hay claras tendencias del sobrepeso y la obesidad en relación con la edad, salvo una ligera tendencia de mayor obesidad a mayor edad en el caso de las mujeres.

Se comparó la prevalencia de sobrepeso y obesidad de las mujeres de 12 a 19 años en 2006 con la de 1999. Se observa un incremento modesto en sobrepeso de 21.6 a 23.3 (7.8%) y un aumento absoluto pequeño, pero elevado en términos relativos, en obesidad: de 6.9 a 9.2 (33.3%) (5)

2.2 Consecuencias del exceso de peso sobre la función respiratoria

La obesidad es una enfermedad multisistémica, en la que se han asociado trastornos psicológicos con depresión, suicidio, y baja capacidad para hacer amistades. Alteraciones intestinales como reflujo gastroesofágico, enfermedad hepática y síndrome de colon irritable. Endocrinológicas como el síndrome metabólico asociado a resistencia a la insulina (prevalencia de 4% en adolescentes, pero en niños obesos/sobre peso aumenta 30 a 50%). Enfermedades cardiovasculares (eventos cardiovasculares, hipertensión, hipertrofia ventricular izquierda, dislipidemia y aterosclerosis). Finalmente, ha sido bien aceptado que disturbios asociados con obesidad contribuyen a

inflamación sistémica tanto en niños como en adultos. Se ha visto que el IMC es el mejor predictor de elevación de Proteína C reactiva, y esta asociación no difiere de edad, sexo o raza. Efectivamente, la obesidad se ha asociado a trastornos en la señalización de la insulina, en la función adrenocortical, en la regulación hormonal alterada, en disfunción endotelial, en alteración en la regulación cardiaca autonómica y en la inducción de inflamación lo cual facilita el desarrollo de síndrome metabólico (9). Incluso el ejercicio puede llegar a ser un factor desencadenante de broncoespasmo en el paciente obeso, siendo conocida la relación asma obesidad (10-16).

Diversas alteraciones en función respiratoria y cardiovascular han sido asociadas a obesidad (17).

La función respiratoria como en el caso del volumen de reserva espiratorio es afectada con la obesidad siendo esto observado en adultos (18). Hay evidencia epidemiológica fuerte que evidencia reducción del volumen espiratorio forzado en el primer segundo como un marcador de mortalidad cardiovascular independientemente de la edad, sexo e historia de tabaquismo. Complicaciones pulmonares como asma y apnea obstructiva del sueño se han asociado con obesidad en niños. (19)

Se ha visto que la obesidad es altamente predictiva de obesidad en el adulto, la cual a su vez se ha estudiado que conlleva a morbilidad y muerte prematura secundaria a enfermedad coronaria, hipertensión, infarto, enfermedad vascular renal. Incluso en edad pediátrica, jóvenes obesos demostraron una alta incidencia de hipertensión, disfunción vascular periférica y evidencia de aterosclerosis en autopsias comparado con no obesos (20,21)

En este sentido, las pruebas de ejercicio cardiopulmonar (PECP) permiten el análisis integrado de la respuesta al ejercicio, evalúan la reserva funcional de los sistemas implicados en la misma y determinan el grado de limitación de la tolerancia al ejercicio. Resultan especialmente adecuadas para la evaluación de aquellas situaciones en que la disnea no tiene un reflejo claro en las pruebas de función pulmonar efectuadas en condiciones de reposo. El interés actual por las pruebas de ejercicio cardiopulmonar viene determinado por la conjunción de factores de naturaleza diversa, como su aplicabilidad en el área clínica, la no invasividad y el hecho de aportar información que no puede obtenerse a partir de otras pruebas. Siendo por lo tanto de gran potencial para determinar estado, condición y pronóstico.

Durante los últimos años se ha alcanzado consenso, o al menos un menor grado de controversia, en la interpretación de aspectos básicos de la fisiología del ejercicio. La idoneidad de las PECP para establecer la indicación de trasplante cardíaco, o para estimar el pronóstico en determinadas enfermedades como la fibrosis quística, han aumentado las expectativas sobre el papel de estas pruebas en la clínica. Actualmente, las PECP pueden ser consideradas claves en el laboratorio de función pulmonar (22).

El ser humano tiene un metabolismo esencialmente aeróbico lo que implica que la energía necesaria para el desarrollo de la actividad se obtiene a través de la respiración mitocondrial. Durante el ejercicio intenso, y en situaciones vitales críticas, el organismo puede producir energía de forma transitoria y menos eficiente a través de la vía glicolítica, que constituye la fuente más notable de producción de ácido láctico.

El desarrollo de ejercicio físico implica un aumento de la demanda celular de O₂, que determina una rápida respuesta fisiológica de todas las funciones implicadas en el transporte de O₂ desde la atmósfera a la mitocondria con el objetivo de aumentar el aporte de O₂: *a*) en los pulmones (ventilación e intercambio de gases); *b*) en el aparato cardiocirculatorio (aumento de débito cardíaco), y *c*) induciendo cambios en la microcirculación del músculo esquelético para aumentar la extracción de oxígeno (O₂) y homogeneizar las relaciones entre perfusión y consumo de oxígeno (VO₂).

En el sujeto sano, es bien conocido que la falta de actividad física da lugar no sólo a una menor capacidad y rapidez de respuesta del sistema de transporte de O₂ ante el ejercicio físico, sino también a una disminución de la capacidad oxidativa mitocondrial. Por el contrario, el entrenamiento físico controlado mejora tanto el transporte de O₂ como el potencial oxidativo celular y, por tanto, la tolerancia al ejercicio físico. La limitación de la tolerancia del ejercicio se produce cuando el sujeto es incapaz de sostener durante el tiempo necesario la carga de trabajo mecánico requerida para desarrollar una determinada tarea. La causa más común es que la capacidad de transporte y utilización de O₂ no cubre el incremento de demanda energética impuesta por el ejercicio físico. Las consecuencias inmediatas son la percepción de sensación de fatiga muscular e incluso dolor muscular y/o disnea. (22)

2.3 Estudios realizados en obesos

Davies y cols., en 1975 realizaron un estudio de rendimiento al ejercicio en 17 mujeres jóvenes obesas y un grupo sano, durante esfuerzo submáximo en bicicleta. El VO₂max fue igual en obesos y no obesos para un peso corporal dado, sin embargo estuvo reducido en cuanto a masa corporal magra y músculo de la pierna con volumen de los huesos. Concluyen que la obesidad tiene mínimos efectos en respuesta al ejercicio submáximo. Sin embargo está asociado a una reducción marcada en el acondicionamiento fisiológico (23).

Alpert y cols., en 1989 (20), midieron el efecto del ejercicio en la función y reserva de la sístole ventricular izquierda en pacientes con obesidad mórbida. Se observó que la fracción de eyección ventricular izquierda estaba disminuida en 13 pacientes y la masa ventricular izquierda aumentada en 10 pacientes. El ejercicio produjo incrementos no significativos en fracción de eyección ventricular izquierda en los subgrupos con fracción de eyección ventricular izquierda normal o deprimida. El ejercicio produjo un significativo incremento de la fracción de eyección ventricular izquierda ($p < 0.005$) en el subgrupo con masa ventricular izquierda normal, pero no produjo un cambio significativo en la fracción de eyección ventricular izquierdo en el subgrupo con masa ventricular

izquierdo elevado. Los resultados sugieren que una masa ventricular izquierda incrementada predispone a mayor morbilidad en pacientes obesos en incapacidad de función sistólica ventricular izquierda durante el ejercicio.

Rowland y cols., en el año de 1991 (25) realizaron un estudio con 28 adolescentes del sexo femenino obesas. Concluyen que los incrementos en la masa corporal están asociados con incremento de la capacidad de ejercicio cardiopulmonar, pero que el ejercicio funcional declina por la carga creada por grasa corporal excesiva.

Maffeis y cols., en 1994 (26), realizaron un estudio en donde observaron el valor máximo aeróbico durante la prueba de ejercicio en caminadora y en bicicleta en niños, 14 obesos y 8 no obesos. Los valores absolutos de VO₂max fueron significativamente mayor en pacientes obesos que en los no obesos en la prueba de caminadora y comparable en los dos grupos en la prueba por bicicleta. Cuando se expreso el VO₂ máx. por kg de masa libre en grasa no hubo diferencia. Concluyeron que los niños obesos no tienen limitación a ejercicio aeróbico.

Reybrouck y cols., en 1997 (27), realizaron un estudio con 29 niños obesos y se compararon los resultados de la prueba de ejercicio con 16 controles sanos de su misma edad (media 11 vs 10.8). Se midió la pendiente para la media del umbral anaeróbico, demostrando que en pacientes obesos esta fue más pronunciada comparada con los controles ($p < 0.05$). El estudio sugiere que el ejercicio cardiorespiratorio está reducido en pacientes obesos.

Salvadori y cols., en 1999 (28), estudiaron la capacidad de trabajo y el rendimiento cardiopulmonar en 11 pacientes obesos y 10 controles sanos. Utilizaron la prueba con bicicleta a carga de trabajo constante para estimar índice cardiaco en umbral anaeróbico. Los pacientes obesos tuvieron un umbral anaeróbico significativamente más bajo, el índice entre consumo de oxígeno (VO₂) y frecuencia cardiaca fue mayor en el grupo de obesos; sin embargo esta significancia disminuyo cuando se tomo en consideración la masa corporal libre de grasa. Los autores concluyen que la tolerancia reducida el ejercicio en pacientes obesos se relaciona con un suplemento de oxígeno reducido a los músculos en actividad.

Hulens y cols., en 2001 (29), realizan un estudio para medir la naturaleza y magnitud de las diferencias en capacidad al ejercicio máximo y submáximo en 225 mujeres obesas y 81 sanas no atléticas. Con carga submáxima el VO₂ fue mayor en las obesas (78% de su consumo de oxígeno pico), mientras que en las mujeres sanas fue solo 69% ($p = 0.0001$). El umbral anaeróbico ocurrió a un porcentaje igual de consumo de oxígeno pico entre ambos grupos. Los autores concluyen que la capacidad al ejercicio máxima y submáxima esta disminuida en mujeres obesas. En el mismo año, Drinkard y cols. (30), estudian la relación entre el rendimiento al caminar/correr y la aptitud cardiorespiratoria en adolescentes con obesidad. Participaron 8 pacientes afroamericanos y 10 caucásicos en una prueba de caminata de 12 minutos y en prueba con bicicleta. Concluyen que las mediciones de una prueba de caminata de 12

minutos se correlacionan con aptitud cardiorespiratoria y la composición corporal en adolescentes con obesidad.

En 2003 Luis Serés y cols. (31), realizan un estudio en 31 adultos con obesidad morbida y 30 controles utilizando el protocolo de Balke modificado para caminadora. Los sujetos obesos presentaron un VO₂, frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica y VE significativamente más elevados que el grupo control, con menor duración de la prueba (tiempo efectivo de ejercicio). Sin embargo no hubo diferencias en el VO₂ al corregir por la masa magra en el grupo de obesos. Al final se concluyó que los pacientes con obesidad mórbida tienen una capacidad de trabajo reducida debido al gran consumo energético que realizan al mover su masa corporal. No obstante, durante este esfuerzo demuestran una capacidad cardiopulmonar normal. En el mismo año Marinov y cols. (28), utilizaron la prueba de ejercicio con el mismo protocolo de Balke modificado y la pendiente de VO₂ para medición de función cardiopulmonar a ejercicio submáximo en 30 pacientes adolescentes obesos y 30 controles. Concluyeron que la duración del ejercicio era significativamente menor en pacientes obesos que en controles, y que el VO₂ ajustado a masa corporal disminuía significativamente, siendo la pendiente del VO₂ una medición objetiva de reserva cardiorespiratoria que no requiere máximo esfuerzo, pero que es altamente dependiente de variables antropométricas las cuales impiden su interpretación como índice de ejercicio en niños.

Finalmente Ekelund y cols. en 2004 (33), realizan un estudio en el cual midió el VO₂ submáximo y máximo en reposo de 18 adolescentes obesos y con peso normal posterior ajustado a masa libre de grasa, no encontrando diferencia significativa al realizar dicho ajuste.

2.2.1 Indicaciones y contraindicaciones de Prueba de Ejercicio

La identificación adecuada del problema clínico que motiva la realización de una prueba de ejercicio cardiopulmonar y los objetivos específicos de la misma constituyen prerequisites indispensables para su indicación, contraindicaciones y criterios de terminación de una prueba (tablas I, II y III) (34). Para la realización de la PECP debe disponerse, como mínimo, de los siguientes datos del paciente: *a)* historia clínica; *b)* exploración física; *c)* radiografía de tórax; *d)* pruebas de función pulmonar (mínimo espirometría forzada), y *e)* electrocardiograma (ECG).

TABLA 1. Indicaciones de la prueba de ejercicio cardiopulmonar (PECP).

1. Evaluación de la limitación a la tolerancia del ejercicio y potenciales factores limitantes.
 - 1.1. Identificación de la limitación a la tolerancia del ejercicio, discriminando entre las diferentes causas.

- 1.2. Diferenciación entre disnea de origen cardíaco y pulmonar.
- 1.3. Evaluación de la disnea no explicable por el grado de alteración de las pruebas funcionales respiratorias.
2. Evaluación de las enfermedades pulmonares obstructivas.
 - 2.1. Enfermedades pulmonares intersticiales.
 - 2.2. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).
 - 2.3. Hipoxemia notable durante el ejercicio.
 - 2.4. Enfermedad cardíaca oculta.
 - 2.5. Patrón respiratorio ineficaz durante el ejercicio.
 - 2.6. Oclusión vascular pulmonar crónica.
 - 2.7. Fibrosis quística.
3. Evaluación preoperatorio.
 - 3.1. Cirugía abdominal mayor.
 - 3.2. Cirugía del cáncer del pulmón.
 - 3.3. Cirugía con reducción de volumen en el enfisema pulmonar.
4. Diagnóstico de asma inducida por el ejercicio.
5. Programas de rehabilitación: evaluación del paciente y prescripción de ejercicio.
6. Evaluación de la disfunción-discapacidad.
7. Trasplante de pulmón, pulmón-corazón.

TABLA 2. Contraindicaciones para la realización de PECP.

Absolutas.

- Infarto de miocardio reciente (menos de 3 días).
- Angina inestable.
- Arritmias cardíacas incontroladas que causan deterioro hemodinámico.
- Estenosis aórtica severa sintomática.
- Insuficiencia cardíaca no estabilizada.
- Embolia pulmonar.
- Pericarditis o miocarditis aguda.
- Disección aórtica.
- Incapacidad física o psíquica para realizar la PECP.

Relativas.

- Estenosis valvular moderada.
- Anormalidades electrolíticas.
- Hipertensión arterial grave descontrolada.
- Taquiarritmias o bradiarritmias.
- Miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción al tracto de salida de ventrículo izquierdo.
- Bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grado.

TABLA 3. Criterios de finalización de PECP.

Absolutos

- El deseo reiterado del sujeto de detener la prueba.
- Dolor torácico anginoso progresivo.
- Descenso o falta de incremento de la presión sistólica pese al aumento de la carga.
- Arritmias severas/malignas: extrasistolia ventricular frecuente, progresiva y multiforme, rachas de taquicardia ventricular, flúter o fibrilación ventricular.
- Síntomas del sistema nervioso central: ataxia, mareo o síncope.
- Signos de mala perfusión: cianosis, palidez.
- Mala señal electrocardiográfica que impida el control del trazado.

Relativos

- Cambios llamativos del ST o del QRS (cambios importantes del eje).
- Fatiga, cansancio, disnea y claudicación.
- Taquicardias no severas incluyendo las paroxísticas supraventriculares.
- Bloqueo de rama que simule taquicardia ventricular.

2.2.2 Bases fisiológicas y conceptuales de pruebas de medición ejercicio cardiopulmonar

El VO₂ es determinado por la demanda celular, la cual debe de ser satisfecha por el transporte de oxígeno. Los factores que pueden influenciar la disponibilidad de oxígeno son capacidad de transporte de la sangre, función cardiaca, redistribución de flujo de sangre periférica y extracción por los tejidos.

El incremento lineal en el VO₂ por incremento de trabajo externo alcanzará una meseta. A esto se le conoce como VO₂ pico el cual se usa como evidencia del VO₂max, siendo el mejor índice de capacidad aeróbica y el estándar de oro de aptitud cardiorespiratoria. A su vez representa el máximo nivel de metabolismo oxidativo, involucrando grupos musculares largos. El VO₂ máximo es dependiente de edad, sexo, talla y es afectado por entrenamiento físico, se expresa en litros por minuto (L/min) o normalizado por peso como VO₂ ml/kg/min (34,35,36).

Por otra parte la producción de dióxido de carbono (VCO₂) durante el ejercicio es determinada por factores similares a los vistos en el consumo de oxígeno, como son: gasto cardiaco, capacidad de transporte de dióxido de carbono (CO₂) de la sangre e intercambio tisular.

El ratio de intercambio respiratorio (RER) es la relación entre VCO₂ y VO₂ (VCO₂/VO₂). En condiciones estables el RER iguala el coeficiente respiratorio, cuyo valor es determinado por la energía usada para procesos metabólicos. El RER puede ser usado como un índice aproximado de eventos metabólicos (34).

El umbral láctico se define como el VO₂ durante el ejercicio, en que se genera un incremento sostenido de los niveles sanguíneos de ácido láctico.

Las mediciones del umbral láctico se pueden medir por medición directa y por métodos no invasivos.

El método no invasivo más utilizado es el de la pendiente de VCO₂ (Método del "V-slope"). Con este procedimiento, el umbral láctico es identificado por medio de las relaciones entre el VCO₂ y VO₂. El mayor incremento de la producción de CO₂ en relación al consumo de O₂ por encima del umbral anaerobio (AT), evidencia un incremento (esencialmente lineal) de la pendiente VCO₂ en relación al VO₂. La intersección de ambos nos indica el AT (22, 36). En individuos normales el AT ocurre a 50 – 60% de VO₂max predicho con un rango de normalidad de 35 – 80%. (37)

La ventilación minuto (VE) es el volumen de gas espirado por minuto expresado en litros. A su vez VE durante el ejercicio puede estar relacionada al trabajo realizado (expresado como VO₂). Este índice es denominado como equivalencia ventilatoria para O₂ o VE/VO₂. Es una medición de eficacia de la ventilación ante distintas cargas de trabajo.

El equivalente ventilatorio para CO₂ es calculado como una manera similar a la usada para calcular el VE/VO₂. La ventilación minuto (VE) se divide entre la producción de CO₂ (VE/VCO₂) y sigue el mismo curso que la relación VE/VO₂. (38).

Es importante distinguir entre realizar una prueba de esfuerzo y la prueba de ejercicio cardiopulmonar. De ahí que la selección del protocolo dependa de lo que se pretende demostrar, considerando el tipo de patología y la edad del sujeto. El protocolo de Bruce fue diseñado originalmente para evaluar enfermedad coronaria, tiene un ritmo de trabajo demasiado alto para un niño: 5 METS, solamente en la primera etapa, con incrementos de 2 a 4 METS (39). El protocolo de Balke modificado nos permite determinar tolerancia al ejercicio, con una velocidad constante de 3.5 millas/hora y elevaciones con incrementos de solamente 1% cada minuto. Siendo por lo tanto un protocolo mas aplicable a niños con diferentes pesos para determinar el VO₂ (ml/kg/min). El objetivo de la prueba de ejercicio cardiorespiratorio es provocar un incremento de los requerimientos energéticos mediante una carga de trabajo controlada para evaluar la reserva funcional de los órganos y sistemas involucrados en la respuesta al ejercicio (40).

El VO₂max debe ser obtenido del valor máximo de O₂ medido durante la prueba de ejercicio incremental, inclusive si no se obtiene meseta en la curva. El hablar de esfuerzo máximo implica que la relación VCO₂/VO₂ (RER) es igual o mayor a 1.1, en el esfuerzo submáximo esta relación es < 1.1.

Cuando un sujeto efectúa ejercicio a una carga constante de intensidad moderada, inferior al umbral láctico, suele alcanzar un VO₂ estable (estado estacionario) y puede prolongar la duración del ejercicio. Por el contrario, cuando la carga de trabajo tiene una intensidad elevada, superior al umbral láctico, la respuesta temporal de la mayoría de las variables resulta en una

pendiente positiva sin alcanzar el estado estacionario. Una primera utilidad de este tipo de protocolos con carga constante es la de evaluar si el sujeto es capaz de sostener un determinado nivel de ejercicio submáximo durante un periodo relativamente prolongado de tiempo. El umbral láctico en un sujeto sano activo se presenta aproximadamente en el 50% del VO₂max de referencia., pero puede variar entre 40 y 55%.

Existe una considerable variabilidad en los marcadores objetivos para considerar una prueba de ejercicio "máxima". Estos marcadores incluyen el ritmo cardiaco, umbral anaeróbico, meseta en el VO₂ y RER. No hay sin embargo un estándar de oro para determinar esfuerzo máximo. El esfuerzo desarrollado por el sujeto es usualmente considerado como máximo cuando una o mas de las siguientes circunstancias ocurren:

1. El sujeto alcanza el valor máximo predicho de VO₂ y/o aparece meseta en la gráfica.
2. El sujeto alcanza el ritmo máximo de trabajo.
3. El sujeto alcanza el umbral anaeróbico (zona de transición entre el esfuerzo moderado y el intenso).
4. El sujeto alcanza la frecuencia cardiaca máxima (>90% del predicho para la edad).
5. Hay evidencia de limitación ventilatoria, esto es, la ventilación máxima durante el ejercicio alcanza o excede la capacidad ventilatoria máxima.
6. Aunque ningún valor del RER define el esfuerzo máximo, valores mayores a 1.1 son frecuentemente asociados a esfuerzo máximo. (41).

La prueba de esfuerzo cardiopulmonar ofrece una medida objetiva de la capacidad funcional del paciente, de la reserva respiratoria y cardiaca. Son varios los estudios que han evaluado la capacidad de esfuerzo de los pacientes obesos, pero también en este ámbito los resultados obtenidos han sido contradictorios. Algunos concluyen que los individuos obesos tienen una respuesta cardiopulmonar dentro de los límites normales y que su capacidad de esfuerzo está comprometida por la gran masa corporal que tienen que transportar. Otros han encontrado que los obesos tienen una capacidad aeróbica reducida cuando la comparan con individuos de peso normal. Para estos últimos, la masa grasa interfiere con la función cardiaca y pulmonar, limitando la respuesta aeróbica al ejercicio. Parte de las discrepancias pueden atribuirse a las diferentes metodologías utilizadas y al hecho de haber estudiado poblaciones con diferentes edades y grados de obesidad (23-33).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, como en el mundo, el sobrepeso y la obesidad son un problema de salud pública porque su prevalencia ha aumentado en todas las edades. Algunos estudios han sugerido que el sobrepeso y la obesidad afectan negativamente la función pulmonar, por lo que este tipo de evaluaciones en los pacientes deben formar parte de la prevención secundaria de este problema de salud, previa evaluación de estas alteraciones que pueden presentarse desde la edad pediátrica. El realizar estos estudios en los niños tiene la relevancia de conocer los mecanismos para prevenir que no desarrollen patologías asociadas a la obesidad desde etapas tempranas de la vida.

El consumo de oxígeno describe la respuesta ventilatoria al ejercicio el cual se ha estudiado que provee una medición objetiva de función cardiopulmonar sobre todo en la población de adultos. Hay algunos estudios que estudian el consumo de oxígeno en pacientes obesos sin embargo no hay de acuerdo a nuestra búsqueda diferenciación entre sobrepeso y obesidad en este rubro.

4. JUSTIFICACIÓN

El conocer las alteraciones cardiorespiratorias en presencia de sobrepeso u obesidad nos ayudarán a conocer mejor esta patología y su pronóstico, así como implementar programas de prevención y rehabilitación tempranos.

Es importante mencionar que en no existían estudios en población mexicana que analizaran los cambios en la prueba de ejercicio realizada en pacientes con sobrepeso u obesidad, asimismo, el compararlos con los resultados de la misma prueba en población pediátrica eutrófica nos permite establecer parámetros de comparación adecuados. Por lo que este estudio proporciona valiosa información sobre la carga de ejercicio que pueden tolerar los pacientes obesos y su capacidad funcional, así como determinar riesgo de enfermedad cardiorespiratoria, influencia de las morbilidades relacionadas a la obesidad en el desarrollo de actividad física y finalmente, recomendaciones para establecer programas de prevención y rehabilitación cardiopulmonar en el niño con obesidad.

A su vez este estudio tiene la fortaleza sobre estudios previos de diferenciar el consumo de oxígeno en la prueba de ejercicio en situación de sobrepeso y obesidad.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Hay diferencia en el consumo de oxígeno (VO_2) en niños con edades entre 7 y 17 años con sobrepeso y obesidad comparado con niños eutróficos en el mismo rango de edad?

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo primario

- Describir el consumo de O₂ máximo (VO₂max) durante la prueba de ejercicio en pacientes con obesidad, sobrepeso y compararlos con un grupo de pacientes con índice de masa corporal normal para la edad.

6.2 Objetivos secundarios

- Comparar el VCO₂, RER y Ve en descanso, AT y máximo entre los grupos.
- Comparar la relación VO₂ AT/VO₂ max medido entre los grupos.
- Comparar la relación VO₂ max/VO₂ predicho entre los grupos
- Cuantificar el VO₂ en AT, el RER en AT y el RER en AT a VO₂max predicho en cada uno de los grupos y establecer las comparaciones.
- Estimar la relación VE/VCO₂ y VE/VO₂ a VO₂max en cada uno de los grupos.
- Determinar los índices de disnea y reserva ventilatoria en AT y máximo en cada uno de los grupos.
- Determinar cambios en la tensión arterial sistólica y diastólica máximas, así como el porcentaje del valor predictivo de la frecuencia cardiaca máxima en cada uno de los grupos.
- Cuantificar el tiempo total prueba y escala pronostica de Weber (42).

7. HIPÓTESIS

Los niños con sobrepeso y obesidad tienen un consumo de oxígeno (VO₂) promedio de 0.2 L/min (200 ml/min) menor en comparación con los niños de peso normal durante la prueba de ejercicio. Por lo tanto el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) es inversamente proporcional al incremento progresivo del índice de masa corporal.

8. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 Diseño de estudio

Se trata de un estudio transversal analítico.

8.2 Población blanco

Se incluyeron sujetos entre 7 y 17 años de edad, de ambos géneros, que acudieron a la Clínica de Obesidad del Hospital Infantil de México Federico Gómez y sujetos de escuelas secundaria y preparatoria con apoyo del Servicio de Medicina Comunitaria del Hospital Infantil de México Federico Gómez. Los sujetos de estudio fueron divididos en 3 grupos de acuerdo a clasificación de índice de masa corporal para la edad en:

- Obesos: Pacientes con índice de masa corporal (IMC) en percentil > 95 de la CDC.
- Sobrepeso Pacientes con índice de masa corporal (IMC) entre el percentil 85 y 95 de la CDC.
- Eutrófico: Pacientes con índice de masa corporal (IMC) entre el percentil 5 y 85 de la CDC.

8.3 Criterios de selección

Criterios de inclusión

- Sujetos con sobrepeso, definido como IMC entre el percentil 85 y 95 según la clasificación del CDC.
- Sujetos con obesidad, definida como IMC en percentil > 95 de la clasificación del CDC.
- Sujetos eutróficos, entre percentil 5 y 85 según la clasificación del CDC.
- Capaces de realizar una espirometría basal que cumpla criterios de aceptabilidad y repetitividad de la ATS, utilizando valores predichos de Knudson (41).
- Capaces de realizar la prueba de ejercicio cardiorrespiratorio.
- Firma del Consentimiento Informado Escrito y Asentimiento.

Criterios de exclusión

- Sujetos con alguna enfermedad cardiológica o respiratoria conocida.
- Sujetos en quienes el resultado de la espirometría basal no cuente con criterios de aceptabilidad y repetibilidad conforme a criterios de la American Thoracic Society (ATS).
- No aceptación del Consentimiento Informado Escrito y/o Carta de Asentimiento.
- Pacientes que estén bajo tratamiento médico que pueda afectar la función cardiopulmonar.

8.4 Tamaño de muestra

Para el cálculo de tamaño de muestra se utilizó una fórmula para comparación de medias (44).

Se tomó como referencia el artículo Ekelund, et al. Oxygen Uptakes Adjusted for Body Composition in Normal-Weight and Obese Adolescents Obesity Research 2004; Vol 12 No.3 :513-520, en donde el consumo de oxígeno corregido por índice de masa corporal (L/min) en el grupo de obesos tuvo una media de 3.2 ± 0.16 , mientras que el grupo de peso normal tuvo una media de 3 ± 0.25 , logrando una diferencia entre las 2 medias de 0.2 (37).

$$n_1 = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2/r)(z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

Supuestos:

Alfa= 0.05 (dos lados)
 Poder = 0.90
 Media 1 = 3.2
 Media 2 = 3.0
 Desviación standart 1 = 0.16
 Desviación standart 2 = 0.25
 n2/n1 = 1.00

Tamaño de muestra:

n1 = 24
 n2 = 24
 n3= 24

8.5 Clasificación de las variables

Variables demográficas de control

- Edad: período de tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento de ingreso al estudio.
- Sexo: división del género humano (hombre o mujer).
- Peso: Es la masa del cuerpo medida en kilogramos, se determina mediante una báscula.
- Talla: Estatura del paciente al momento del estudio medida en centímetros con un estadímetro.
- IMC: medida de asociación entre el peso y la talla de un individuo; IMC peso (kg)/talla² (mts²).

Variables independientes

Variable de control

- Clasificación por IMC: Se refiere a clasificación por CDC de índice de masa corporal refiriéndose para fines de este estudio como normal, sobrepeso y obesidad.

Variable dependiente

- Consumo de oxígeno (ml/kg/min y L/min): Es la diferencia de flujo de O₂ entre el gas inspirado y espirado (cantidad de O₂ usado por el metabolismo corporal a nivel celular durante un período de tiempo). Se mide en el estudio en etapa basal, AT y máximo.
- Producción de CO₂ (ml/kg/min y L/min). En ausencia de dióxido de carbono inspirado, es el flujo de dióxido de carbono exhalado desde el organismo a la atmósfera como producto final del metabolismo celular. Se mide en el estudio en etapa basal, AT y máximo.

Co-VARIABLES de resultado

- VO_{2AT}/VO₂ máximo predicho: Relación de consumo de oxígeno medido en umbral anaerobio sobre el consumo de oxígeno máximo calculado, expresado en ml/kg/min.
- VO_{2AT}/VO₂ máximo medido: Relación de consumo de oxígeno medido en umbral anaerobio sobre el consumo máximo de VO₂ durante la prueba
- VCO_{2AT}/VCO₂ máximo medido: Relación de producción de dióxido de carbono medido en umbral anaeróbico sobre la producción de dióxido de carbono máximo, expresado en ml/kg/min y en L/min.
- VO₂ AT: Consumo de oxígeno medido durante el umbral anaeróbico expresado en ml/kg/min y en L/min.
- RER AT: Es el cociente entre la eliminación de CO₂ y el consumo de O₂ medida en umbral anaeróbico.
- RER máximo: Es el cociente entre la eliminación de CO₂ y el consumo de O₂ a esfuerzo máximo.
- Ve AT: Es el volumen de aire que entra y sale de los pulmones en un minuto, expresado en condiciones ATPS durante el umbral anaeróbico.
- Vemax Es el volumen de aire que entra y sale de los pulmones en un minuto, expresado en condiciones ATPS durante el esfuerzo máximo.
- VEF 1: Volumen espiratorio forzado medido en el primer segundo
- MVV: Ventilación voluntaria máxima que puede realizar la persona, expresada en litros.
- Índice de disnea : Recíproco de reserva ventilatoria. Expresado como porcentaje.

$$ID = \{1 - (V_{\text{max}}/MVV)\} \times 100$$

- Reserva ventilatoria: Diferencia entre la ventilación máxima y la ventilación minuto medida en ejercicio pico (máximo), o expresada como porcentaje de ventilación voluntaria máxima expresado en litros.

$$RV = (V_{\text{max}}/MVV) \times 100$$

- VE/VO₂ máx: Relación que existe dividiendo ventilación minuto entre el consumo de oxígeno máximo medido.
- VE/ VCO₂ max Relación que existe dividiendo ventilación minuto entre la producción de bióxido de carbono máximo medido.
- PAS máxima: Presión arterial sistólica máxima medida en la prueba, expresado en mmHg.

- PAD máxima: Presión arterial diastólica máxima medida en la prueba, expresado en mmHg.
- Reserva cardiaca (HRR, %): Relación entre la diferencia de la frecuencia cardiaca teórica más alta medida a ejercicio máximo y el pico de frecuencia cardiaca máxima medida en relación con la frecuencia cardiaca teórica durante el ejercicio máximo.

$$\text{HRR} = [(\text{máxima FC teórica} - \text{FC máxima})/\text{máxima FC teórica}] \times 100.$$

Frecuencia cardiaca máxima teórica = 220 – edad en años.

- Tiempo total prueba: Tiempo que dura la prueba desde inicio del ejercicio hasta el cese del mismo medido en minutos y segundos.
- Escala de Weber: Clasificación de Weber para impedimento funcional en capacidad aeróbica y umbral anaeróbico (34).

Clase	Gravedad	Vo2max (ml/min/kg)	AT (VO2 ml/min/kg)
A	No – leve	> 20	> 14
B	Leve – moderada	16 – 20	11 – 14
C	Moderada – grave	10 – 16	8 – 11
D	Grave	6 – 10	5 – 8
E	Muy grave	< 6	< 4

- Esfuerzo máximo: Se considera al alcanzar alguna de las siguientes condiciones:

Variables	Criterio de normalidad
Frecuencia cardiaca (FC)	>90% del predicho para edad
RER	>1.1

8.6 Definición operacional de las variables

VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO	MÉTODO ESTADÍSTICO
Sexo	Masculino/ Femenino	Nominal	Frecuencia, porcentaje
Edad	Años	Razón	Media, DE
Peso	Kilogramos	Razón	Media, DE
Talla	centímetros	Razón	Media, DE
Índice de masa corporal	Unidades	Razón	Media, DE
Categoría por Índice masa corporal	Sobrepeso/Obeso/ Normal	Ordinal Independiente	Frecuencia y proporciones
Consumo de oxígeno	ml/kg/min y (L/min)	Razón	Media, DE, T Student

Producción CO ₂	ml/kg/min y L/min)	Razón	Media, DE, T Student
VO ₂ AT/VO ₂ máximo predicho	Porcentaje	Razón	Media, DE, t student
VO ₂ AT/VO ₂ máximo medido	Porcentaje	Razón	Media, DE, t student
VO ₂ AT	ml/kg/min	Razón	Media, DE, T Student
RER AT	Relación	Razón	Media, DE, T Student
RER máximo	Relación	Razón	Media, DE, T Student
Ventilación AT	(L/min)	Razón	Media, DE, T Student
Ventilación máxima	(L/min)	Razón	Media, DE, T Student
MVV	Litros	Razon	Media, DE, T Student
Índice de disnea	Porcentaje	Razón	Media, DE, T Student
Reserva ventilatoria	Porcentaje	Razón	Media, DE, T Student
VE/CO ₂ máximo	Relación	Razón	Media, DE, T Student
VE/CO ₂ AT	Relación	Razón	Media, DE, T Student
VE/VO ₂ AT	Relación	Razón	Media, DE, T Student
VE/VO ₂ máximo	Relación	Razón	Media, DE, T Student
Presión arterial sistólica máxima	mm Hg	Razón	Media, DE, T Student
Presión arterial diastólica máxima	mm Hg	Razón	Media, DE, T Student

Reserva cardiaca	Porcentaje	Razón	Media, DE, T Student
Escala de Weber	A,B,C,D	Ordinal	Frecuencia y proporciones

8.7 Descripción general del estudio

Se invito a participar a pacientes que acuden a la Clínica de Obesidad del Hospital Infantil de México Federico Gómez, de igual forma, por medio del Servicio de Medicina Comunitaria del Hospital Infantil de México Federico Gómez se acudió a las escuelas primarias y secundarias previa autorización de las autoridades correspondientes y permiso mediante Carta de Consentimiento Informado Escrito de los padres donde se midió y pesó a los alumnos para obtención del índice de masa corporal, de acuerdo a ello se coloco en uno de los siguientes grupos; a) eutrófico, b) sobrepeso y c) obesidad. Se les programó una cita en el Laboratorio de Fisiología Pulmonar del Hospital Infantil de México para realización espirometría y prueba de esfuerzo indicando se acudiera con ropa cómoda de ejercicio y previo a un desayuno ligero.

A cada sujeto se le realizó una espirometría basal utilizando los valores predictivos de Knudson (36) para edad, sexo, peso y talla, previa calibración del equipo, así como la medición de la ventilación voluntaria máxima (MVV). Posterior al estudio espirométrico, se procedio a realizar la prueba de ejercicio cardiorrespiratorio en banda (tapiz rodante).

Antes de iniciar la prueba de ejercicio cardiorrespiratorio se obtuvo en cada sujeto un electrocardiograma en decúbito y en ortostatismo, con el objetivo de detectar alteraciones eléctricas cardiacas con hiperventilación voluntaria. La monitorización se continuó en recuperación durante 3-5 minutos en ausencia de hallazgos patológicos. La prueba se explicó por personal médico o paramédico.

La prueba de ejercicio se realizó en un equipo Ultima Cardio II, marca Medgraphics, con sistema de medición breath by breath, con neumotacógrafo tipo Pitot bidireccional (resolución de 2.4 ml/seg., precisión $\pm 3\%$ o 10 ml.), el cual no se ve afectado por condensación, turbulencia, viscosidad del gas, temperatura o posición, acoplado a una mascarilla de gel. Analizador de O₂ = 1% (rango de 0 a 100%) con respuesta < 130 mlseg. Analizador de CO₂ = 1% (rango de 0 a 10%), con respuesta < 130 mlseg. Flujómetro = 3% (rango de 0 a 14 L/s), con respuesta < 40 mlseg. Rampa = 0.2 mph (rango 0 a 10 mph). 0.5% grados (rango 0 a 20% grados). Antes de cada sesión el sistema se calibró con jeringa volumétrica de 3 litros ($\pm 0.3\%$) a diferentes flujos. Se ajustaron presión barométrica (Cdad. de México), temperatura y humedad relativa. De igual forma, se realizó la calibración de gases estándar; CO₂ 5%, O₂ 12% y balance de nitrógeno, así como O₂ al 21% y balance con nitrógeno, conforme a las instrucciones del fabricante.

Se utilizó el protocolo de Balke modificado para banda, el cual consta de una etapa de reposo de 3 minutos para medición de VO_2 y VCO_2 , seguido de 10 etapas de un minuto cada una a una velocidad fija de 3.5 millas /hora y elevación de la banda de 0,6,8,19,12,14,16,18,20 y 22 grados. La combinación de intervalos e incrementos de trabajo permite al paciente alcanzar un nivel máximo (fatiga) de trabajo o síntomas limitantes en un periodo razonable. Este protocolo con intervalos cortos no permite alcanzar un estado basal (steady-stage) en el intercambio de gases, ventilación y respuesta cardiovascular, lo cual es innecesario ya que el objetivo primario es determinar los valores máximos de consumo de oxígeno, frecuencia cardiaca y ventilación, permitiendo una mejor determinación de la cinética de los gases (VO_2 , VCO_2), provocando además menor fatiga muscular (40).

Posteriormente una fase de recuperación a 0 grados y 1.5 millas/hora por otros 3 minutos. Los pacientes fueron instruidos para mantener el esfuerzo hasta que fueran incapaces de continuar. La frecuencia cardiaca (FC) fue monitorizada con registro electrocardiográfico continuo de 12 derivaciones, registro de TA durante cada una de las etapas. Para el análisis de los gases espirados durante el esfuerzo y el reposo, se utilizó un neumotacógrafo bidireccional. El equipo hace un análisis de las variables a medir mediante el sistema "breath by breath" y lo entrega en forma de gráfico continuo y tabla cada 60 segundos. Además la programación de las diferentes variables las realiza el operador del equipo conforme a los establecidos en cada protocolo y conforme a las recomendaciones de la American Thoracic Society (34). Se entregan como resultados.: volumen corriente (VC en ml), frecuencia respiratoria (FR, en respiraciones/min), ventilación por minuto (VE, en l/min), consumo de O_2 (VO_2 , en ml/min), producción de dióxido de carbono (VCO_2 , en ml/min), tensión arterial sistólica (TAS), tensión arterial diastólica (TAD) cociente respiratorio ($RQ = VCO_2/VO_2$).

Se incluyeron en una base de datos los resultados de la espirometría y de las pruebas de ejercicio cardiorespiratorio (PECR) realizadas a los pacientes registrando los siguientes parámetros: edad, sexo, peso, talla, IMC, categoría por IMC, VEF1, MVV, Reserva cardiaca (HRR) máxima del predicho máximo, Frecuencia Respiratoria (FR), Saturación, Consumo de oxígeno máximo y en AT ml/kg/min y L/min, producción de VCO_2 máximo y en AT ml/kg/min y L/min, VO_2 AT / VO_2 máximo medido, VO_2 máximo medido / VO_2 máximo predicho, RER máximo y en AT, Ventilación máxima y en AT, VE/VCO_2 máximo y en AT, VE/VO_2 máximo y en AT, PAS máxima, PAD máxima, Índice de disnea, reserva ventilatoria y escala de Weber.

Los Filtros desechables utilizados para la realización de la espirometría, así como electrodos desechables utilizados en la prueba de ejercicio cardiorrespiratorio, posterior a su uso se desecharon en bote de basura común.

8.8. Plan de analisis

Análisis exploratorio. Se efectuó un análisis exploratorio con todas las variables a fin de identificar la naturaleza de su distribución.

Análisis descriptivo. Se elaboraron tablas y gráficos con medidas de resumen (proporciones e intervalos de confianza al 95%, para datos categóricos, promedios y desviación estándar o sus equivalentes no paramétricos, medianas e intervalos intercuartílicos) de toda variable incluyendo, frecuencias desagregadas por género y edad, de acuerdo con el IMC en las 3 categorías (eutróficos, sobrepeso y obesidad).

Comparación divariada. Se estimó el grado de asociación de las distintas variables de la función pulmonar comparando medias en sujetos con IMC normal, sobrepeso u obesidad, usando análisis de varianza de una vía y análisis poshoc correspondiente a la distribución de las variables. Asimismo, se estimó la correlación entre el IMC con los datos de la función pulmonar por el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman. Finalmente en la comparación divariada se obtuvo la razón de proporciones de las diferentes alteraciones de la función pulmonar encontradas acuerdo a las categorías de IMC descritas.

Análisis multivariado. Se construyeron modelos que permitan analizar en forma conjunta el efecto de las diferentes variables estudiadas que participan sobre la función pulmonar. En estos se integraron el estado nutrición y posibles variables confusores como edad sexo, cuales se analizarán mediante regresión logística.

En el modelo se integraron también los resultados de, presión arterial, metabolismo basal y reserva cardiaca. Todos estos análisis se llevaron a cabo con el programa STATA. Se considerarán significativos los valores de $p < 0.05$.

8.9 CONSIDERACIONES ÉTICAS

En el presente protocolo se siguieron en forma estricta conforme a los lineamientos de Buena Práctica Clínica de la Conferencia Internacional en Armonización, todos los requerimientos aplicables relativos a la privacidad de los sujetos y a los principios éticos definidos en la versión de 2008 de la Declaración de Helsinki 2008, así como en acuerdo a las pautas normadas por la Organización Mundial de la Salud.

En todo momento se guarda el anonimato de los pacientes incluidos. El protocolo contempla una prueba de ejercicio con el protocolo de Balke modificado, el cual es poco demandante. No es una prueba de esfuerzo para diagnóstico de enfermedad coronaria. Se pretende solamente determinar la capacidad al ejercicio. De cualquier forma, el sujeto estuvo permanentemente monitoreado, tanto en función pulmonar como en su función cardiaca con alarmas electrónicas programadas, que detienen la prueba en caso de eventualidades (resbalones de la banda, taquicardia, alteraciones en el EKG, etc.). La prueba de ejercicio tiene un riesgo mínimo, con una morbilidad de 2 de cada 100,000 pacientes; contando de cualquier forma con un médico el cual tomo y aprobó el Pediatric Advanced Life Support y con carro rojo. En caso de cualquier eventualidad se conto con el servicio de Urgencias Pediátricas del Hospital Infantil de México. El familiar firmó Consentimiento Informado Escrito y

hubo Carta de Asentimiento firmada por el niño que realizó la prueba previo a la realización de la prueba.

8.10. CONSIDERACIONES DE BIOSEGURIDAD

En el presente estudio no se incluyeron materiales considerados de riesgo biológico según la NORMA Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002.

En el presente estudio se incluyeron como materiales de desecho:

- Para la prueba de ejercicio cardiorespiratorio, el equipo Cardio 2 de Medgraphics utiliza un neumotacógrafo tipo Pitot desechable, el cual se deposita en el bote de basura común. El circuito de gases Medgraphics se recambia cada 6 meses o 200 estudios. Posterior a cada estudio, el sistema se purga a través de una bomba de vacío y se recalibra. Para el estudio de espirometría, se utiliza un filtro antibacterial desechable el cual es depositado en el bote de basura común.

9. RESULTADOS

Se estudiaron un total de 213 pacientes de los cuales se dividieron en 3 grupos de acuerdo a índice de masa corporal para un total de 29 pacientes en el grupo eutróficos, 30 en el grupo de sobrepeso y 154 en el grupo de obesidad.

La distribución por sexos en el grupo de eutróficos fue 9 mujeres y 20 hombres. La distribución por sexos en los pacientes con sobrepeso fue 15 hombres y 15 mujeres. La distribución por sexos en los pacientes con obesidad fue de 65 mujeres y 89 hombres. (Tabla 1).

El promedio de edad en años por grupos fue de 12.2 con una desviación estándar (DE) de ± 2.4 en el grupo de eutróficos, 12.1 DE ± 2.2 en el grupo de sobrepeso y de 12.3 DE ± 2.1 en el grupo de obesidad. (Tabla 1).

En cuanto al peso hubo como es de esperarse una diferencia en cuanto al peso promedio en kilogramos en el grupo de eutróficos una media de 43 DE ± 11.9 , en el grupo de sobrepeso 59 DE ± 13.1 y en el grupo de obesidad 77.2 DE ± 20.8 . (Tabla 1).

En cuanto a la talla medida en cm en el grupo de eutróficos hubo un promedio de 151.3 DE ± 13 , mientras que en el grupo de obesidad tuvo un promedio de 154.3 DE ± 11.3 y en el grupo de obesidad fue de 155.5 DE ± 30.7 .

Tabla 1. Características clínicas de 213 pacientes pediátricos eutróficos, con sobrepeso y con obesidad

Variable	Eutróficos med \pm DE	Sobrepeso Med \pm DE	Obesidad med \pm DE
Sexo Mujer (%)	31%	50%	42.20%
Edad (años)	12.2 \pm 2.4	12.1 \pm 2.2	12.3 \pm 2.1
Peso (kilogramos)	43.0 \pm 11.9	59.0 \pm 13.1	77.2 \pm 20.8
Talla (cms)	151.3 \pm 13.0	154.3 \pm 11.3	155.5 \pm 10.8
Talla (percentil para la edad)	42.5 \pm 27.0	58.0 \pm 29.1	57.0 \pm 30.7

El VO₂ máximo al tomarse en cuenta en Litros/minuto mostro relación directamente proporcional al IMC teniendo en el grupo de eutróficos una media de 1.58 DE ± 0.42 , en el grupo de sobrepeso una media de 1.78 DE ± 0.57 y en el grupo de obesidad una media de 1.91 DE ± 0.48 . Habiendo en este rubro una p significativa estadísticamente ($p < 0.001$). (Tabla 2).

Sin embargo el VO₂ máximo al tomarse en cuenta en mL/Kg/min tuvo una relación inversamente proporcional habiendo en el grupo de eutróficos una media de 37.22 DE ± 3.7 , en el grupo de sobrepeso una media de 30.21 DE ± 5.4 y en el grupo de obesidad una media de 25.55 DE ± 4.77 . También en este rubro hubo una p significativa estadísticamente ($p < 0.001$). (Tabla 2).

Como se muestra en la tabla 2 no hubo significancia estadística al comparar el VO₂ entre género masculino y femenino eutróficos. Hubo diferencia estadística al comparar entre género masculino y femenino en el grupo de sobrepeso con un p de 0.024. En el grupo de obesidad aumenta esta diferencia estadística con un p <0.001 al comparar entre sexo masculino y femenino.

Tabla 2. Vo₂ máximo por sexo medido en L/min y mL/Kg/min

Variable	Eutróficos		Sobrepeso		Obesidad		p
	Med	± DE	Med	± DE	Med	± DE	
Todos							
Vo ₂ max (mL/Kg/min)	37.22	± 3.70	30.21	± 5.40	25.55	± 4.77	<0.001
Vo ₂ max (L/min)	1.58	± 0.42	1.78	± 0.57	1.91	± 0.48	<0.001
Hombres							
Vo ₂ max (mL/Kg/min)	38.07	± 3.29	32.40	± 5.63	26.59	± 4.94	<0.001
Vo ₂ max (L/min)	1.70	± 0.44	1.92	± 0.73	2.01	± 0.53	0.017
Mujeres							
Vo ₂ max (mL/Kg/min)	35.34	± 4.06	28.02	± 4.29 *	24.13	± 4.17 **	<0.001
Vo ₂ max (L/min)	1.31	± 0.18	1.63	± 0.32	1.77	± 0.36	<0.001

*p=0.024 vs Hombres **p=0.001 vs Hombres

En cuanto a la medición de VO₂ medido por L/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de eutróficos se obtuvo en descanso una media de 0.19 DE ± 0.05, a VO₂ en AT se tuvo una media de 0.87 DE ± 0.31 y en máximo una media de 1.58 DE ± 0.42. (Tabla3)

Tabla 3 Vo₂ en descanso, AT y máximo en pacientes eutróficos (L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO ₂ descanso (L/min)	0.19	± 0.05	0.11	0.31
VO ₂ AT (L/min)	0.87	± 0.31	0.32	1.66
VO ₂ max (L/min)	1.58	± 0.42	1.02	2.64

En cuanto a la medición de VO₂ medido por L/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de sobrepeso se obtuvo en descanso una media de 0.30 DE ± 0.19, a VO₂ en AT se tuvo una media de 1.07 DE ± 0.30 y en máximo una media de 1.78 DE ± 0.57.(Tabla 4)

Tabla 4 Vo2 en descanso, AT y máximo en pacientes con sobrepeso (L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO2 descanso (L/min)	0.30	± 0.19	0.12	1.08
VO2 AT (L/min)	1.07	± 0.30	0.57	1.77
VO2 max (L/min)	1.78	± 0.57	1.11	3.37

En cuanto a la medición de VO2 medido por L/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de obesidad se obtuvo en descanso una media de 0.36 DE ± 0.19, a VO2 en AT se tuvo una media de 1.18 DE ± 0.31 y en máximo una media de 1.91 DE ± 0.48. (Tabla 5)

Tabla 5 Vo2 en descanso, AT y máximo en pacientes con obesidad(L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO2 descanso (L/min)	0.36	± 0.19	0.13	1.39
VO2 AT (L/min)	1.18	± 0.31	0.45	2.26
VO2 max (L/min)	1.91	± 0.48	0.92	3.30

Al compararse los valores de VO2 medido en L/min en las 3 etapas de la prueba (descanso, At y máximo) entre pacientes eutróficos, sobrepeso y obesidad, se obtuvo un valor significativo con $p < 0.001$ en estado basal y en AT, con una p significativa de 0.003 en VO2 máximo. Viéndose una relación directamente proporcional entre IMC y VO2 medido en L/min. (Figura 1)

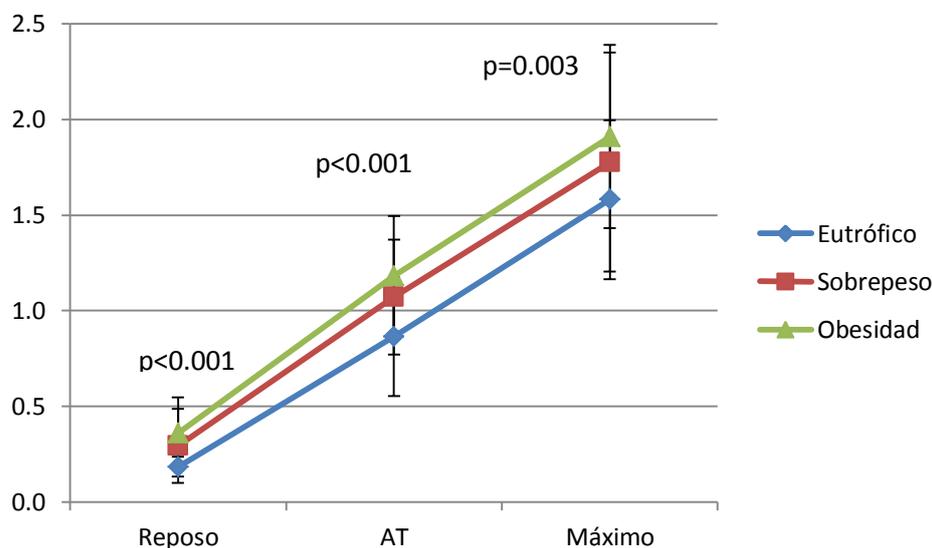


Figura 1. VO2 (L/min) entre grupo eutrófico, sobrepeso y obesidad.

En cuanto a la medición de VO2 medido por mL/Kg/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de obesidad se obtuvo en descanso una media de 4.47 DE ± 1.43, a VO2 en AT se tuvo una media de 20.62 DE ± 5.28 y en máximo una media de 37.22 DE ± 3.7. (Tabla 6)

Tabla 6 Vo2 en descanso, AT y máximo en pacientes eutróficos (mL/Kg/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO2 descanso (mL/kg/min)	4.47	± 1.43	2.78	10.33
VO2 AT (mL/kg/min)	20.62	± 5.28	9.20	34.50
VO2 max (mL/kg/min)	37.22	± 3.70	28.90	43.30

En cuanto a la medición de VO2 medido por mL/Kg/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de sobrepeso se obtuvo en descanso una media de 4.96 DE ± 2.58, VO2 en AT se tuvo una media de 18.76 DE ± 4.1 y en máximo una media de 30.21 DE ± 5.40. (Tabla 7)

Tabla 7 Vo2 en descanso, AT y máximo en pacientes con sobrepeso (mL/Kg/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO2 descanso (mL/kg/min)	4.96	± 2.58	1.86	14.17
VO2 AT (mL/kg/min)	18.76	± 4.10	11.40	26.20
VO2 max (mL/kg/min)	30.21	± 5.40	19.00	43.30

En cuanto a la medición de VO2 medido por mL/Kg/min en distintas etapas de la prueba en el grupo de obesidad se obtuvo en descanso una media de 4.83 DE ± 2.43, VO2 en AT se tuvo una media de 15.81 DE ± 3.78 y en máximo una media de 25.55 DE ± 4.77. (Tabla 8)

Tabla 7 Vo2 en descanso, AT y máximo en pacientes con obesidad (mL/Kg/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VO2 descanso (mL/kg/min)	4.83	± 2.43	1.63	15.57
VO2 AT (mL/kg/min)	15.81	± 3.78	8.40	24.90
VO2 max (mL/kg/min)	25.55	± 4.77	13.50	38.40

Al compararse los valores de VO2 medido en mL/Kg/min en las 3 etapas de la prueba (descanso, At y máximo) entre pacientes eutróficos, sobrepeso y obesidad, no se obtuvo un valor significativo en reposo con $p = 0.777$, mientras que en AT y en VO2 máximo se obtuvo una $p < 0.001$. Viéndose como ya iniciado el ejercicio hay relación inversamente proporcional entre IMC y VO2 medido en mL/Kg/min. (Figura 2).

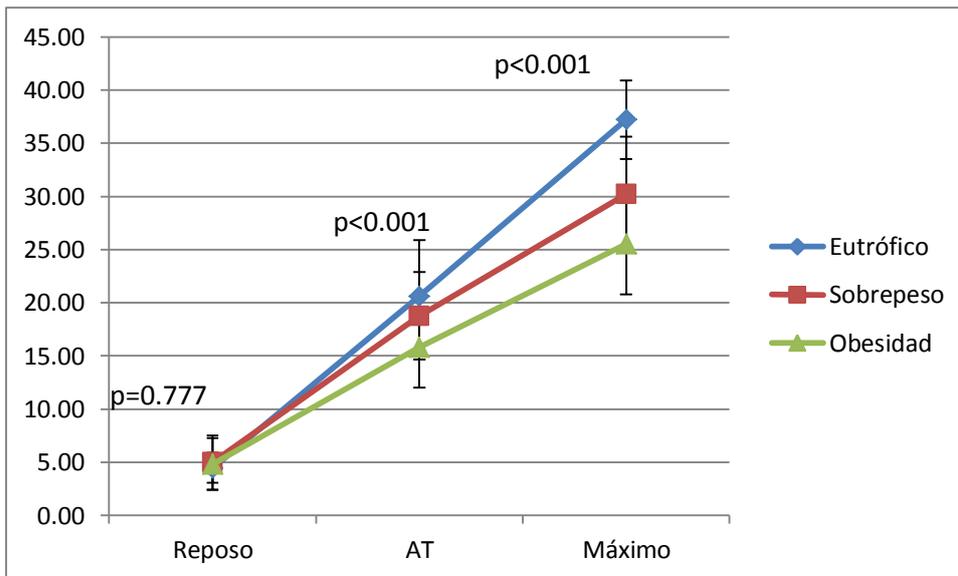


Figura 2. VO2 (mL/Kg/min) entre grupo eutrófico, sobrepeso y obesidad.

Se toma el VCO2 medido como L/min en distintas etapas de la prueba en los 3 grupos encontrando en el grupo de eutróficos en descanso una media de 0.17 DE \pm 0.05, en AT una media de 0.73 DE \pm 0.27 y en máximo una media de 1.64 DE \pm 0.41. (Tabla 8).

Tabla 8. VCO2 en descanso, AT y máximo en pacientes eutróficos (L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VCO2 descanso (L/min)	0.17	\pm 0.05	0.1	0.3
VCO2 AT (L/min)	0.73	\pm 0.27	0.3	1.4
VCO2 max (L/min)	1.64	\pm 0.41	0.9	2.6

En el grupo de sobrepeso al medir VCO2 (L/min) en descanso se tuvo una media de 0.29 DE \pm 0.27, en AT se tuvo una media de 0.89 DE \pm 0.25 y en máximo una media de 1.93 DE \pm 0.71. (Tabla 9).

Tabla 9. VCO2 en descanso, AT y máximo en pacientes con sobrepeso (L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VCO2 descanso (L/min)	0.29	\pm 0.27	0.11	1.60
VCO2 AT (L/min)	0.89	\pm 0.25	0.50	1.49
VCO2 max (L/min)	1.93	\pm 0.71	1.11	4.24

En el grupo de obesidad al medir VCO2 (L/min) en descanso se tuvo una media de 0.33 DE \pm 0.18, en AT se tuvo una media de 1.03 DE \pm 0.29 y en máximo una media de 2.19 DE \pm 0.67. (Tabla 10).

Tabla 10. VCO2 en descanso, AT y máximo en pacientes con obesidad (L/min)

Variable	Media	DE	Min	Max
VCO2 descanso (L/min)	0.33	± 0.18	0.12	1.50
VCO2 AT (L/min)	1.03	± 0.29	0.45	2.01
VCO2 max (L/min)	2.19	± 0.67	0.92	4.87

Al compararse los valores de VCO2 medido en L/min en las 3 etapas de la prueba entre pacientes eutróficos, sobrepeso y obesidad, se obtuvo un valor de $p < 0.001$ a nivel basal, AT y máximo. Viéndose una relación directamente proporcional entre IMC y VCO2 medido en L/min. (Figura 3)

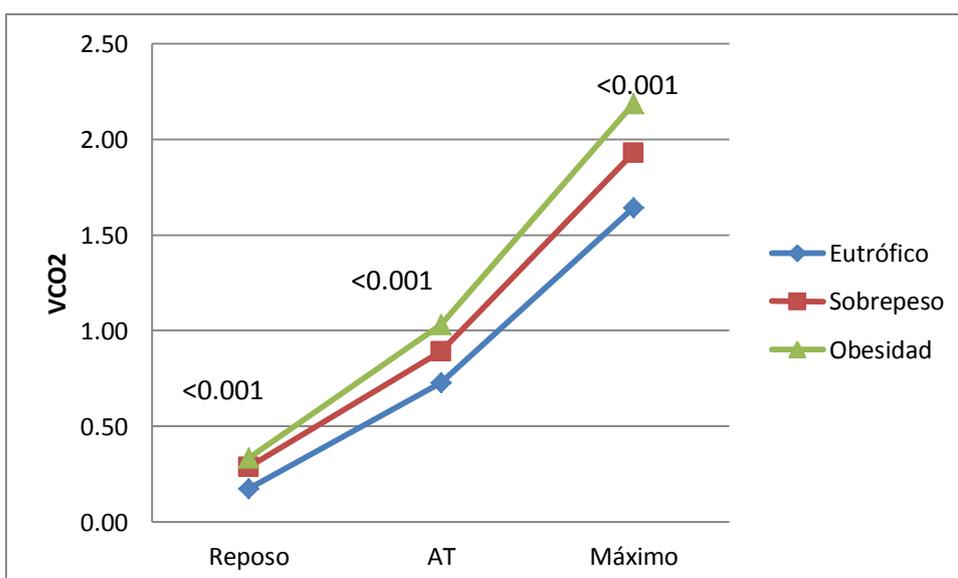


Figura 3. VCO2 (L/min) entre grupo eutrófico, sobrepeso y obesidad.

Así mismo se realizó la medición de VCO2 en base a mL/Kg/min donde hubo una relación inversamente proporcional de VCO2 con respecto a IMC. (figura 4).

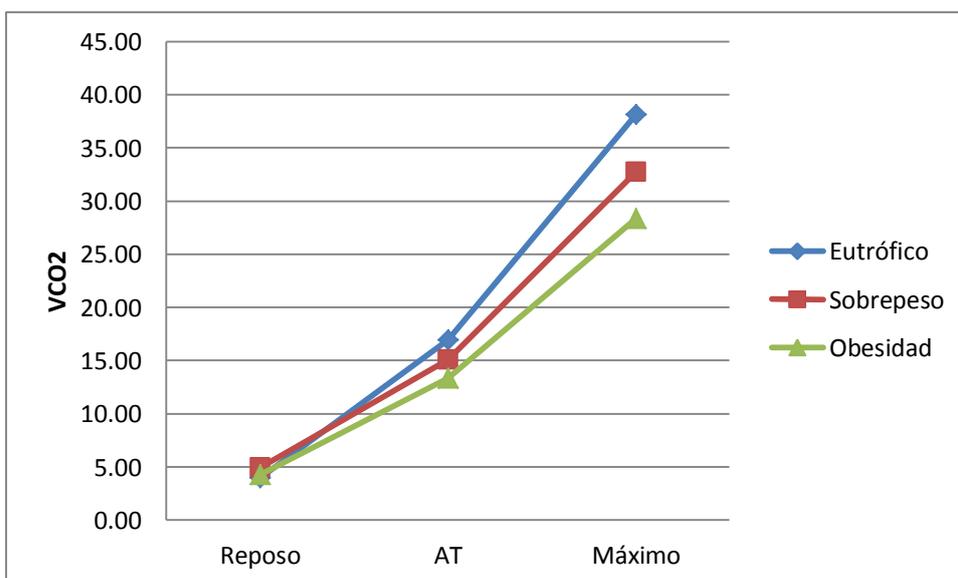


Figura 4. VCO2 (mL/Kg/min) entre grupo eutrófico, sobrepeso y obesidad.

Se toma el valor de RER a nivel de AT en los 3 grupos obteniendo en el grupo de eutróficos una media de 0.83 DE \pm 0.04, en el grupo de sobrepeso una media de 0.84 DE \pm 0.05 y en el grupo de obesidad una media de 0.88 DE \pm 0.08, teniendo un valor de p entre ellos <0.001 . (Tabla 11).

También se toma el valor de RER a nivel máximo siendo este uno de los parámetros de esfuerzo máximo (mayor de 1.1), obteniendo en el grupo eutrófico una media de 1.06 DE \pm 0.04, en el grupo de sobrepeso una media de 1.12 DE \pm 0.09 y en el grupo de obesidad una media de 1.15 DE \pm 0.10 teniendo un valor de p entre ellos <0.001 . (Tabla 11)

Tabla 11. Valor de RER en AT y máximo en los distintos grupos.

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
RER AT	0.83	\pm 0.04	0.8	0.9
RER max	1.06	\pm 0.07	0.9	1.2
Sobrepeso				
RER AT	0.84	\pm 0.05	0.79	0.98
RER max	1.12	\pm 0.09	0.92	1.32
Obesidad				
RER AT	0.88	\pm 0.08	0.79	1.15
RER max	1.15	\pm 0.10	0.88	1.49

Valor de p de RER AT entre grupos <0.001 . Valor de p de RER max entre grupos <0.001

Se midió la ventilación en descanso, AT y máxima en el grupo de eutróficos encontrando en descanso una media de 6.7 con DE \pm 1.96, en AT una media de 21.70 con DE \pm 6.79 y en máxima una media de 51.32 DE \pm 10.56. (Tabla 12).

La ventilación en descanso, AT y máxima en el grupo de sobrepeso encontrando en descanso una media de 10.04 con DE \pm 7.86, en AT una media de 27.68 con DE \pm 8.52 y en máxima una media de 61.13 DE \pm 20.62. (Tabla 12).

La ventilación en descanso, AT y máxima en el grupo de obesidad encontrando en descanso una media de 11.30 con DE \pm 5.54 , en AT una media de 30.79 con DE \pm 8.32 y en máxima una media de 67.63 DE \pm 18.58. (Tabla 12).

Hubo una diferencia estadística en los rubros de Ventilación en descanso, AT y en máxima al compararlo entre los 3 grupos obteniendo en todos ellos una p <0.001 . (Tabla12).

Tabla 12. Ventilación en descanso, AT y máxima en los diferentes grupos

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
Ve descanso	6.67	± 1.97	3.20	10.90
Ve AT	21.80	± 6.80	9.90	37.80
Ve max	51.32	± 10.57	35.60	74.10
Sobrepeso				
Ve descanso	10.04	± 7.86	4.50	46.90
Ve AT	27.68	± 8.53	15.80	49.00
Ve max	61.14	± 20.62	34.10	119.50
Obesidad				
Ve descanso	11.30	± 5.54	0.85	46.80
Ve AT	30.80	± 8.32	10.40	64.50
Ve max	67.64	± 18.58	35.50	121.80

Valor de p en Ve descanso entre grupos <0.001

Valor de p en Ve AT entre grupos <0.001

Valor de p en Ve máxima entre grupos <0.001

Al llevar la ventilación a volumen tidal (Ve/peso) el valor de p persistió significativo estadísticamente con p 0.015 para Vt descanso 0.015, p 0.002 para Vt en AT y valor de p <0.001 para Vt máximo. (Tabla 13).

Tabla 13. Volumen tidal en descanso, AT y máxima en los diferentes grupos

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
Vt descanso	0.43	± 0.16	0.24	0.84
Vt AT	0.84	± 0.45	0.35	2.44
Vt max	1.25	± 0.54	0.62	2.90
Sobrepeso				
Vt descanso	0.51	± 0.24	0.27	1.54
Vt AT	0.98	± 0.27	0.51	1.69
Vt max	1.40	± 0.47	0.78	2.69
Obesidad				
Vt descanso	0.52	± 0.20	0.20	1.63
Vt AT	1.00	± 0.31	0.25	1.89
Vt max	1.48	± 0.43	0.64	2.88

Valor de p en Vt descanso entre grupos 0.015

Valor de p en Vt AT entre grupos 0.002

Valor de p en Vt máxima entre grupos <0.001

Se realizó la medición de Ventilación / VO₂ entre los 3 grupos encontrando en el grupo de eutróficos en descanso una media de 36.41 con DE ± 4.75, a nivel de AT media de 34.02 con DE ± 4.77 y máximo con media de 32.29 con DE ± 4.23. En el grupo de sobrepeso se tuvo a nivel basal una media de 26.29 DE ±

3.83, a nivel de AT media de 25.88 DE \pm 2.95 y máximo 26.24 DE \pm 3.31. Finalmente en el grupo de obesidad se tuvo en descanso una media de 33.23 DE \pm 5.29, a nivel de AT media 34.42 DE \pm 3.96 y máximo con media de 35.53 DE \pm 4.87. En la diferencia entre grupos se encontró en descanso una p significativa de 0.002, sin presentarlo a nivel de AT con p 0.767 y a nivel máximo con p de 0.072. (Tabla 14)

Tabla 14. Ve/VO2 en descanso, AT y máxima en los diferentes grupos

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
Ve/VO2 descanso	36.41	\pm 8.09	24.68	65
Ve/VO2 AT	26.29	\pm 3.83	19.93	33.89
Ve/VO2 max	33.23	5.29	22.65	40.81
Sobrepeso				
Ve/VO2 descanso	34.02	\pm 4.77	26.92	47.69
Ve/VO2 AT	25.88	\pm 2.95	19.65	34.74
Ve/VO2 max	34.42	\pm 3.96	27.5	45.65
Obesidad				
Ve/VO2 descanso	32.29	\pm 5.68	2.6	52.66
Ve/VO2 AT	26.24	\pm 3.31	16	38.07
Ve/VO2 max	35.53	\pm 4.87	25.03	61.98

Valor de p en Ve/VO2 descanso entre grupos 0.002

Valor de p en Ve/VO2 AT entre grupos 0.767

Valor de p en Ve/VO2 máxima entre grupos 0.072

Se realizó la relación de Ventilación / VCO2 entre los 3 grupos encontrando en el grupo de eutróficos en descanso una media de 9.78 con DE \pm 2.38, a nivel de AT media de 31.28 con DE \pm 4.75 y máximo con media de 31.91 con DE \pm 4.75. En el grupo de sobrepeso se tuvo a nivel basal una media de 9.78 DE \pm 2.38, a nivel de AT media de 31.28 DE \pm 4.75 y máximo 31.91 DE \pm 5.05. Finalmente en el grupo de obesidad se tuvo en descanso una media de 7.72 DE \pm 3.62, a nivel de AT media 30.19 DE \pm 3.81 y máximo con media de 31.49 DE \pm 4.24. En la diferencia entre grupos se encontró en descanso una p <0.001, y a nivel de AT con p 0.064 sin encontrarse a nivel máximo con p de 0.392. (Tabla 15)

Tabla 15. Ve/VCO2 en descanso, AT y máxima en los diferentes grupos

Variable	Media	DE	Min	Max
				Eutróficos
Ve/VCO2 descanso	9.78	2.38	4.56	14.08
Ve/VCO2 AT	31.28	4.75	23.81	41.15
Ve/VCO2 max	31.91	5.05	23.05	43.68
				Sobrepeso
Ve/VCO2 descanso	8.62	4.33	1.84	21.36
Ve/VCO2 AT	31.10	3.98	22.57	46.44
Ve/VCO2 max	32.13	3.05	24.71	39.18
				Obesidad
Ve/VCO2 descanso	7.72	3.62	1.45	22.81
Ve/VCO2 AT	30.19	3.81	17.86	43.40
Ve/VC+O2 max	31.49	4.24	22.81	43.31

Valor de p en Ve/VCO2 descanso entre grupos <0.001

Valor de p en Ve/VCO2 AT entre grupos 0.064

Valor de p en Ve/VCO2 máxima entre grupos 0.392

En cuanto a tiempo total de prueba en minutos en el grupo de eutróficos se obtuvo una media de 9.86 DE \pm 0.39, en el grupo de sobrepeso una media de 9.42 DE \pm 0.92 y en el grupo de obesidad una media de 8. DE \pm 1.53 y un valor de p entre grupos <0.001 (Tabla 16)

Tabla 16. Tiempo total de Prueba

Grupo	Media	DE	Min	Max
Eutrófico	9.86	\pm 0.39	8.1	10.0
Sobrepeso	9.42	\pm 0.92	6.37	10.00
Obesidad	8.27	\pm 1.53	4.13	10.00

Valor de p de Tiempo Total de Prueba entre grupos <0.001

Se tomo la PA sistólica como diastólica máxima en los distintos grupos observándose en el grupo de eutróficos una PAS media de 147.93 DE \pm 16.14 y PAD con media de 76.52 DE \pm 6.78. En el grupo de sobrepeso se tuvo una PAS media de 144.43 DE \pm 16.56 y PAD media de 86.63 DE \pm 9.26. En el grupo de obesidad una PAS media de 151.6 DE \pm 21.19 y una PAD media de 91.01 DE \pm 10.39. Mientras el valor de p en PAS fue de 0.372, en PAD fue <0.001. (Tabla 17).

Tabla 17. TA máxima durante la prueba

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
PAS	147.93	± 16.14	114.0	174.0
PAD	76.52	± 6.78	57.0	92.0
Sobrepeso				
PAS	144.43	± 16.56	122.00	185.00
PAD	86.63	± 9.26	70.00	113.00
Obesidad				
PAS	151.60	± 21.19	117.00	210.00
PAD	91.01	± 10.39	55.00	132.00

Valor p en PAS entre grupos 0.372. Valor P en PAD entre grupos <0.001

En cuanto a la frecuencia cardíaca máxima sobre el predicho que es otro de los parámetros de alcanzar esfuerzo máximo se obtuvo resultados muy similares sin haber significancia estadísticamente hablando (p 0.65). (Tabla 18)

Tabla 18. Frecuencia cardíaca máxima sobre el predicho

Grupo	Media	DE	Min	Max
Eutrófico	90	± 6.47	70	100
Sobrepeso	89	± 6.06	71	100
Obesidad	90	± 4.54	77	99

Valor p en FCM entre grupos 0.65

En cuanto la escala de Weber 1 de los pacientes con sobrepeso (10%) se encontró fuera de rangos de normalidad, presentando clasificación B (impedimento funcional en capacidad aeróbica leve a moderado), mientras que 17 de los pacientes de obesidad presento rango fuera de la normalidad (11.03%), de los cuales 14(9.09%) presentaron clasificación B y 3 de ellos (1.94%) presentaron clasificación C (impedimento funcional en capacidad aeróbica moderado a grave).

En cuanto a índices respiratorios se tomo el índice de disnea y reserva ventilatoria encontrando en los pacientes eutróficos una media del índice de disnea de 54.58 DE ± 11.21 y una media de resera ventilatoria de 46.80 DE ± 10.57. En el grupo de sobrepeso se obtuvo una media de índice de disnea de 58.66 DE ± 9.78 y una media de reserva ventilatoria de 41.34 con DE ± 9.78. Finalmente en el grupo de obesidad se obtuvo una media en índice de disnea de 66.10 DE ± media 12.54 y una media de reserva ventilatoria de 33.96 DE ± 12.55. El valor de p para ambos índices fue <0.001(Tabla 19).

Tabla 19. Índice de disnea y reserva ventilatoria

Variable	Media	DE	Min	Max
Eutróficos				
Índice de disnea	54.58	± 11.21	31.0	72.5
Reserva ventilatoria	46.80	± 10.57	27.5	69.0
Sobrepeso				
Índice de disnea	58.66	± 9.78	39.30	79.80
Reserva ventilatoria	41.34	± 9.78	20.20	60.70
Obesidad				
Índice de disnea	66.10	± 12.54	33.80	95.60
Reserva ventilatoria	33.96	± 12.55	4.40	66.20

Valor de p para índice de disnea y reserva ventilatoria <0.001

Cabe mencionar que de los 213 pacientes, 24 de ellos (12.79%) no alcanzaron criterios de esfuerzo máximo, de los cuales 9 fueron del grupo de eutróficos (figura 5), 4 del grupo de sobrepeso (figura 6) y 11 del grupo de obesidad (figura 7). Los criterios de esfuerzo máximo como ya se menciono anteriormente fueron RER >1.1 y frecuencia cardiaca del pronostico >90%. Figura 5.

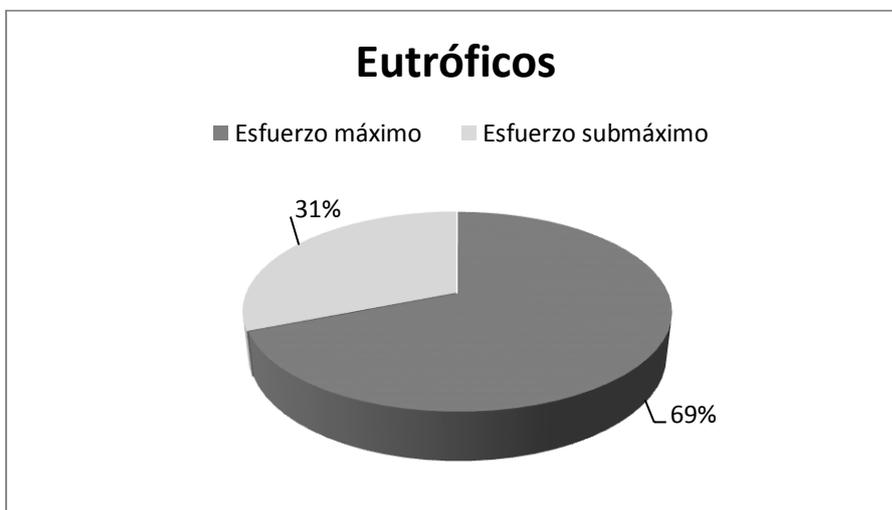


Figura 5. Esfuerzo máximo en pacientes eutróficos



Figura 6. Esfuerzo máximo en pacientes con sobrepeso



Figura 7. Esfuerzo máximo en pacientes con obesidad

10. DISCUSIÓN

En el presente estudio el VO₂ máximo medido por L/min estuvo incrementado en los pacientes que tenían un IMC más alto. Esto se cree que es a causa de un mayor esfuerzo que se realiza por una sobrecarga secundaria a la carga de un cuerpo mucho más pesado. Sin embargo al momento de traducir este VO₂ máximo entre su peso total se vio que este disminuía considerablemente a mayor IMC, lo que nos demuestra que el volumen cardiaco minuto y/o la ventilación no alcanzan a compensar las necesidades energéticas del organismo en caso de sobrepeso-obesidad como pasa en el paciente eutrófico.

En etapa basal no hubo diferencia de VO₂ a nivel de mL/Kg/min entre los grupos, sin embargo a mayor carga de trabajo esta diferencia se hace más significativa siendo estadísticamente importante conforme se llega a esfuerzo máximo ($p < 0.001$), lo que nos muestra que el volumen cardiaco minuto es similar en estado de reposo sin importar incremento en el IMC, es decir existe una compensación inicial, la cual se va perdiendo a una mayor carga de trabajo. Por lo tanto el IMC sea un factor de relevancia en función cardiorespiratoria. También hay reportado que a un mayor IMC disminuye la fracción de eyección (sin llegar a disminuir por debajo de lo normal) lo que nos puede explicar un menor VO₂ (45).

En cuanto al género hay una diferencia significativa en VO₂ máximo, el cual se va incrementando a mayor índice de masa corporal, siendo en la mujer considerablemente menor comparado con el hombre en el grupo de obesidad ($p < 0.001$), mientras que en el grupo de sobrepeso fue de 0.024, lo que nos sugiere que en el sexo femenino la capacidad cardiorespiratoria en esfuerzo máximo es menor en relación al hombre. Esto se ha mencionado ya en las guías de ATS considerándolo probablemente secundario a la mayor cantidad de grasa en la mujer, cuyos valores se corregirían al tomar en cuenta la masa magra.

Similares resultados en cuanto al VO₂ se encuentran en la literatura internacional tanto en adultos como en población pediátrica realizados en pacientes con obesidad (23-33). Sin embargo el presente estudio tiene la ventaja de comparar a pacientes con sobrepeso, obesos y eutróficos, encontrando diferencias estadísticamente significativas, lo que nos traduce que a mayor IMC hay una disminución en la función cardiorespiratoria, llevando a una mayor fatiga en el individuo.

Se ha tomado como referencia de normalidad en el parámetro VO₂ AT/VO₂ máximo predicho el valor en porcentaje de 50, refiriéndose de 40 a 49 como físicamente inactivo y menor de 40 impedimento circulatorio o respiratorio, en el presente estudio la media de los tres grupos se encontraron en el rubro de inactividad física aun que alcanzando una diferencia estadística importante comparándolo entre ellos ($p 0.003$).

El rubro de umbral anaerobio que es VO₂ AT/VO₂ máximo predicho nos puede sugerir enfermedad cardiaca y aun que se alcanzo significancia estadística

entre los grupos (P 0.028), en el presente estudio encontramos las cifras de los grupos en rangos de normalidad.

Otro de los parámetros que nos indican incapacidad al ejercicio es el VO₂ máximo / VO₂ predicho máximo, encontrando que entre 60 al 80% es indicativo de que hay una incapacidad leve, habiendo una incapacidad importante por debajo del 60%. En nuestra población encontramos significancia estadística con valor de P de 0.002 y encontrando que los pacientes con sobrepeso tuvieron una media de 77.96 DE ± 11.41 y en el grupo de obesos una media de 74.96 DE 13.31. Cabe mencionar que en el grupo de obesidad 25 de los pacientes (16.26%) estuvo por debajo del 60%, mientras que solo uno lo estuvo en el grupo de sobrepeso (3.33%), lo que nos muestra claramente la obesidad como factor pronóstico para incapacidad al ejercicio.

Se estadifico a los pacientes con la escala de Weber, la cual es usada para medir impedimento funcional en la capacidad aeróbica, encontrando a los del grupo de sobrepeso y de obesidad fuera del rango de normalidad (10 y 11.03 % respectivamente) de los cuales el 1.94% de los obesos presentó clasificación C (impedimento moderado a grave). Dichos resultados nos indican que el sobrepeso y obesidad es un factor de mal pronóstico de presentar alteración en la capacidad funcional y en la reserva cardiaca, traducida como un impedimento funcional en la capacidad aeróbica.

La ventilación es otro de los parámetros que nos indican la cantidad de transporte de O₂ y de Co₂, por lo que a mayor carga de trabajo los tres deben de aumentar de forma lineal en metabolismo aerobio (carga de trabajo leve a moderada). Es de esperar que al haber cumplido el grupo de obesidad casi en su totalidad con esfuerzo máximo los valores medios de ventilación sean mayores en comparación con los grupos de sobrepeso y eutróficos (medias de 67.64 DE ± 18.68, 61.14 DE ± 20.62 y 51.32 DE ± 10.57 respectivamente para una P <0.001). Lo anterior coincide con lo referido en las guías de ATS (34) donde se reporta que en sobrepeso y obesidad hay un aumento de la ventilación.

Aunque algunos autores no recomiendan utilizar la relación Ve/VCO₂ dado que el incremento de ambos van de la mano, otros autores si lo recomiendan (34), en nuestro estudio tuvimos a nivel de Ve/VCO₂ máximo una media dentro de parámetros normales, con el grupo eutrófico de 33.23 DE ± 5.29, grupo sobrepeso 34.43 DE ± 3.97 y grupo obesidad 35.34 DE ± 4.88 sin haber significancia estadística (P 0.072).

El parámetro de Ve/VCO₂ en AT nos puede traducir que exista un disminuido CO₂, aumento en la ventilación o un aumento del espacio muerto (por ejemplo enfisema pulmonar) cuando este índice es mayor de 34. Puede aumentar el Ve/VCO₂ AT ante la baja respuesta del transporte de oxígeno como en el caso de patología intersticial, lo que aumentaría la ventilación de forma compensatoria y el CO₂ al ser 20 veces más difundible que el O₂ disminuiría. En ninguno de los 3 grupos la media estuvo por debajo de este parámetro, aun que si hubo significancia estadística al comparar este parámetro entre los

grupos ($p < 0.001$). En el estudio 8 eutróficos, 1 paciente con sobrepeso y 17 obesos superaron el índice de 34, sin embargo hay que tomar con precaución este parámetro por lo ya explicado en cuanto lo comentado de la relación V_e y VCO_2 y la no recomendación por algunos autores. Cabe mencionar que se reporta en pacientes adultos con obesidad mórbida VE/VCO_2 disminuida secundario a síndrome de hipoventilación (46) lo cual no se corroboró en nuestro estudio con nuestra población.

Fue significativo el índice de reserva ventilatoria entre los grupos ($P < 0.001$), teniendo que el valor del mismo es inversamente proporcional al IMC. Además de encontrarse en el grupo de obesidad 9 de los pacientes (5.8%) presentó un índice menor del 15% que se traduce como limitación respiratoria grave.

No hubo diferencia en cuanto a frecuencia cardíaca máxima sobre el predicho, lo que nos habla de acuerdo a la fórmula de gasto cardíaco (frecuencia cardíaca multiplicado por el Volumen sistólico de eyección) que el aumento de la post carga no compensa el aumento de los requerimientos de oxígeno en el organismo por kilogramo de peso.

Una de las limitaciones del estudio es el que el 31.03% de los pacientes eutróficos no alcanzan esfuerzo máximo comparado con el 13.33% del grupo de sobrepeso y el 7.1 % del grupo de obesidad, lo cual se traduce a una mayor capacidad al ejercicio en pacientes eutróficos y a partir de presencia de sobrepeso la misma va decreciendo conforme aumenta el IMC.

Como se ha mencionado en el presente estudio, el protocolo de Balke modificado es una prueba de tolerancia al ejercicio y no prueba de esfuerzo, lo cual se ve ejemplificado al no alcanzar presión arterial sistólica máxima (200 mm Hg) ni presión arterial sistólica máxima (por arriba 95 mm Hg del basal) que son criterios de terminación de la prueba. Como complicaciones un paciente obeso presentó hipotensión con el ejercicio y 15 pacientes obesos y uno con sobrepeso presentó broncoespasmo los cuales se tomaron en cuenta para el estudio dado que alcanzaron criterios de esfuerzo máximo evitando sesgo en los resultados.

11. CONCLUSIONES

- El VO₂ es directamente proporcional al índice de masa corporal expresado en Litros/minuto, sin embargo el mismo es inversamente proporcional cuando se traduce a mililitros/Kilogramo/minuto.
- El VO₂ es menor en mujeres en relación a los hombres lo cual se hace más evidente a mayor carga de trabajo.
- El sobrepeso y obesidad son factores de riesgo para presentar impedimento funcional en capacidad aeróbica, siendo más importante en el caso de la obesidad.
- La obesidad es un factor de riesgo para presentar limitación respiratoria grave.
- El sobrepeso y la obesidad limita la carga de trabajo, siendo más evidente en este último.

12. BIBLIOGRAFIA

1. Inselman LS, Mila NA, Deurlbo A. Effect of obesity on pulmonary function in children. *Pediatric Pulmonology* 1993; 16: 130-137
2. Popkin, B.M., K. Duffey, and P. Gordon-Larsen, Environmental influences on food choice, physical activity and energy balance. *Physiology and Behavior*, 2005, 86(5):603-613.
3. World Heart Organization Obesidad y sobrepeso. Nota descriptiva No. 311. Septiembre 2005. Dirección de Internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/index.html>
4. Bueno G, Bueno O, Moreno LA, García R, Tresaco B, Garagorri JM, Bueno M. Diversity of metabolic syndrome risk factors in obese children and adolescents. *J Physiol Biochem* 2006; 62: 125-134.
5. Gustavo Olaiz, Juan Rivera, Teresa Shamah. Encuesta Nacional de Salud 2006. Estado Nutricio. 2006 Pags 85-104.
6. Zanconato S, Banardi E, Santuz P., Rigon F., Vido L., Da Dalt L., F. Zacchello. Gas Exchange during exercise in obese children. *European Journal of Pediatrics* 1989; 148: 7. 614-617
7. Wang Y & Lobstein T Worldwide trends in childhood overweight and obesity. *Int Journal of Pediatric Obesity*. 2006; 1: 11-25.
8. Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria disponible en: www.promocion.salud.gob.mx
9. Rakesh Bhattacharjee, Jinkwan Kim. Obesity and Obstructive Sleep Apnea Syndrome In Children: A Tale of Inflammatory Cascades. *Pediatric Pulmonology* 2010 46:313 313-323.
10. Figueroa-Muñoz JI, Chinn S, Rona RJ: Association between obesity and asthma in 4-11 year old children in the UK. *Thorax* 2001;133-7.
11. Von Mutius E, Schwartz J, Neas LM Weiss ST: the National Health and Nutrition Examination Study III. *Thorax* 2001; 56:835-8
12. Chinn S, Rona RJ: Can the increase in body mass index explain the rising trend in asthma in children? *Thorax* 2001; 56:845-50

13. Pablo Brockmann V, Solange Caussade L., N. Linus Holmgreen P: Actividad física y obesidad en niños con asma. Rev Chil Pediatr 2007; 78: 382-488.
14. Castro-Rodriguez JA, Holberg CJ, Morgan WJ, Martinez FD: Increased incidence of asthma like symptoms in girls who become overweight or obese during the school years. Am J Respir Crit Care Med 2001; 163: 1344-9
15. Chinn S: Obesity and asthma. Paediatr Respir Rev 2006; 7: 223-8.
16. Bustamante LCP. Obesidad y actividad física en niños y adolescentes Universidad San Buenaventura 1998: 1-17
17. Nagesiwari K.S., Sharma R., Rai Hohli D. Assessment of respiratory and sympathetic cardiovascular parameters in obese school children Indian Journal Physiology Pharmacology 2007; 51, 3: 235–243
18. Ray CS, Sue DY. Effects of Obesity on respiratory Function. Am Rev Respir Dis 1983; 128: 501-506.
19. Figueroa-Muñoz JI, Chinn S. Association between asthma in 4-11 years old children in the UK. Thorax 2001; 56; 133-137.
20. Rowland. Effect of obesity on cardiac function in children and adolescents: A review. Journal of Sports Science and Medicine 2007 6, 319-326.
21. Tounian, P Aggoun. Presence of increased stiffness of the common carotid artery and endothelial dysfunction in severely obese children: a prospective study. Lancet 358, 1400-1404
22. Roca Torrent. Pruebas de ejercicio cardiopulmonary. Arch Bronconeumologu 2001; 37:247-268.
23. Davies CT, Godfrey S, Light M, Sargeant AJ, Zeidifard E. Cardiopulmonary responses to exercise in obese girls and young women. J Appl Physiol 1975;38:373-6.
24. Alpert MA, Singh A, Terry BE, Kelly DL, Villarreal D, Mukerji V. Effect of exercise on left ventricular systolic function and reserve in morbid obesity. Am J Cardiol 1989;63:1478-82.
25. Rowland TW. Effects of obesity on aerobic fitness in adolescent females. Am J Dis Child 1991;145:764-8.

26. Maffeis C, Schena F, Zaffanello M, Zoccante L, Schutz Y, Pinelli L. Maximal aerobic power during running and cycling in obese and non-obese children. *Acta Paediatr* 1994;83:113-6.
27. Reybrouck T, Mertens L, Schepers D, Vinckx J, Gewillig M. Assessment of cardiorespiratory exercise function in obese children and adolescents by body mass-independent parameters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75:478-83.
28. Salvadori A, Fanari P, Fontana M, Buontempi L, Saezza A, Baudo S, et al. Oxygen uptake and cardiac performance in obese and normal subjects during exercise. *Respiration* 1999;66: 25-33
29. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E. Exercise capacity in lean versus obese women. *M Scand J Med Sci Sports* 2001;11:305-9.
30. Drinkard, B., McDuffie, J., McCann, S., Uwaifo, G.I., Nicholson, J. and Yanovsky, J.A. Relationships between walk/run performance and cardiorespiratory fitness in adolescents who are overweight. *Physical Therapy* 2001 **81**, 1889-1896.
31. Luis Serés, Jordi López-Ayerbe, Ramón Coll, Función cardiopulmonar y capacidad de ejercicio en pacientes con obesidad mórbida. *Rev Esp Cardiol* 2003; 56(6):594-600
32. B. Marinov, S. Kostianev. Exercise Performance and Oxygen Uptake Efficiency Slope in Obese Children Performing Standardized Exercise. *Acta Physiol. Pharmacol. Bulg.*, 27 2003 1-pp.
33. Ekelund, U., Franks, P.W., Wareham, N.J. and Aman, J. Oxygen uptakes adjusted for body composition in normal-weight and obese adolescents. *Obesity Research* 2004 **12**, 513-520.
34. American Thoracic Society. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing *Am J Respir Crit Care Med* 2003: 167.211–277
35. Hamilton AL., Killian KJ, Summers E, Jones NL. Muscle strength symptom intensity and exercise capacity in patients with cardiorespiratory disorders. *AM J Respir Crit Care Med*. 1995; 152:2021-2031.

36. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *AM Rev Respir Dis* 1985; 131 : 700 - 708
37. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60: 2020-2027.
38. Carl Mottram, Gregg Ruppel. *Cardiopulmonary exercise testing. Manual of pulmonary function testing.* 2003. 8va edición Pags 209-270
39. Bruce RA, McDonough JR. Stress testing in screening for cardiovascular disease. *Bull NY Acad Med* 1969;45:1288-1305.
40. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167:211-277.
41. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167:211-277.
42. Weber KT, Kinasewitz GT, Janicki JS, Fishman AP. Oxygen utilization and ventilation during exercise in patients with chronic cardiac failure. *Circulation* 1982;65:1213-1223
43. Knudson RJ, Lebowitz MD, Hollberg CJ. Changes in the normal maximal expiratory flow – volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 725-734.
44. Rosner, B. 2006. *Fundamentals of Biostatistics.* 6th ed. Belmont, CA: Duxbury.
45. Rowland T., Dunbar NS. 2007. Effects of obesity on cardiac function in adolescent females. *American Journal of Lifestyle Medicine*, in press.
46. Lopata M, Freilich RA. Ventilatory control and the obesity hypoventilation syndrome. *Am Rev Respir Dis* 1979;119:165-168

13. ANEXO 1

HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN MÉDICA

Función cardiopulmonar durante la prueba de ejercicio en pacientes pediátricos con sobrepeso y obesidad

Le estamos invitando a su hijo(a), al igual que a otros niños más a participar en este estudio de investigación médica que se lleva a cabo en el Laboratorio de Fisiología Respiratoria del Hospital Infantil de México Federico-Gómez.

El estudio tiene como propósito valorar la función cardiorrespiratoria durante el ejercicio en niños y niñas de la Ciudad de México, con peso normal (llamados controles), con sobrepeso y con obesidad. Así conoceremos que diferencia hay entre los grupos mencionados en cuanto a función cardíaca y respiratoria y conocer más acerca de las alteraciones que un peso elevado tiene sobre el desarrollo de ejercicio en la edad pediátrica. Una vez que conozcamos estos valores, en un futuro se podrá usar esta información para programas de reducción de peso, cantidad tolerada de ejercicio de acuerdo a cada uno de los grupos y programas de rehabilitación.

Su hijo(a) es candidato a participar en este estudio, su participación es completamente voluntaria y debe ser autorizada por los padres o tutores. Se le pide por favor leer la información que le proporcionamos. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad de hacer las preguntas que desee sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

I. PROCEDIMIENTOS

Si usted acepta que su hijo(a) participe, ocurrirá lo siguiente.

- a). Evaluación clínica: En esta evaluación se tomará el peso y la estatura y se ubicará en alguno de los grupos (peso normal, sobrepeso u obesidad).
- b). Realizará una espirometría: Es una prueba para medir la capacidad respiratoria de su hijo(a). Se le pedirá a su hijo(a) que sople de forma larga, fuerte y sostenida a través de un filtro colocado en la boca y conectado a un equipo en el cual aparecen datos y porcentajes sobre la capacidad respiratoria de su hijo(a). Podrá realizar hasta 9 intentos para obtener 3 muestras que sean similares entre sí.
- c). Realización de prueba de ejercicio: Se citará a su hijo(a) con ropa cómoda para ejercicio y tenis a fin de realizar una prueba de ejercicio en caminadora (banda sin fin). Se le colocarán electrodos en el tórax para

realizar un electrocardiograma y que servirán para monitorizar la actividad eléctrica del corazón y la frecuencia cardiaca durante todo el estudio. Se pedirá a su hijo(a) que suba a la banda sin fin (caminadora) en donde se le colocara una mascarilla para medición de los gases exhalados (oxígeno y dióxido de carbono). En ese momento iniciara la prueba de ejercicio, la cual consiste en 10 etapas de caminata sobre la banda a una velocidad fija de 3.5 millas/hora con elevaciones progresivas de 0,6,8,19,12,14,16,18,20 y 22 grados cada minuto. Finalizando con una fase de recuperación a 0 grados y 1.5 millas/hora. Su hijo(a) estará monitorizado durante toda la prueba y de encontrarse alguna alteración cardiorrespiratoria se suspenderá la prueba.

En estos procedimientos nos tardaremos aproximadamente 40 a 60 minutos. Los datos obtenidos de las pruebas que se practicarán serán utilizadas únicamente con fines de investigación.

II. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

No hay riesgos asociados con la evaluación clínica (medición de peso y estatura), estos son estudios de rutina que no son invasivos y que no le causarán dolor o riesgo alguno.

La realización de la espirometría pudiera provocar mareo transitorio y en algunos casos se han reportado desvanecimientos por el esfuerzo al soplar.

La realización de prueba de ejercicio puede provocar crisis de asma en algunos pacientes obesos susceptibles, así mismo se han reportado alteraciones cardiacas como taquicardia y arritmias (alteración en el ritmo de los latidos del corazón), así como desvanecimientos, de cualquier forma su hijo(a) estará monitorizado durante toda la prueba y se respetara si decide no continuar con la misma. En el laboratorio se cuenta con el equipo necesario para resolver cualquiera de estos problemas transitorios que se presenten en su hijo(a).

III. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

No recibirá ningún beneficio directo al participar en este estudio. No recibirá un pago por la participación de su hijo(a) en este estudio, ni este estudio implica gasto alguno para usted. En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.

Los resultados del presente estudio permitirán conocer los cambios la función cardiaca y respiratoria durante el ejercicio en niños y niñas con sobrepeso y obesidad, comparado con niños(as) sanos, lo cual nos brindará información importante y de gran utilidad para en un futuro poder realizar programas de ejercicio en niños con sobrepeso y obesidad, identificar si hay alteraciones a nivel cardiaco y pulmonar. Si su hijo(a) presenta valores alterados en la prueba de ejercicio, se le ofrecerá información específica de la misma y formas de mejorar esta.

IV. PARTICIPACIÓN O RETIRO

La participación de su hijo(a) en este estudio es completamente voluntaria y debe ser autorizada por el padre, madre y/o tutores. Si usted decide que su hijo(a) no participe, su decisión no afectará su relación con este Hospital y su derecho a obtener los servicios de salud u otros servicios que pudiera recibir del Hospital Infantil de México Federico-Gómez.

Si en un principio desea que su hijo(a) participe y posteriormente cambia de opinión, puede abandonar el estudio en cualquier momento. EL abandonar el estudio en el momento que quiera no modificará de ninguna manera los beneficios que su hijo(a) pudiera tener en este hospital. Para fines de esta investigación sólo utilizaremos la información que usted y su hijo(a) nos han brindado desde el momento en que aceptó participar hasta el momento en el cual nos haga saber que ya no desea que su hijo(a) participe.

V. PRIVACIDAD Y CONFIDENCIALIDAD

La información que nos proporcione y que pudiera ser utilizada para identificar a su hijo(a) (como su nombre, teléfono y dirección) será guardada de manera confidencial y por separado al igual que sus respuestas a los cuestionarios y los resultados de sus pruebas, para garantizar su privacidad.

Sólo el equipo de investigadores sabrá que el menor está participando en este estudio. Por lo tanto nadie más tendrá acceso a la información que usted y su hijo(a) nos proporcionen durante su participación en este estudio, a menos que usted así lo desee.

Cuando los resultados de este estudio sean publicados o presentados en conferencias, no se dará información que pudiera revelar la identidad de su hijo(a), esta será protegida y ocultada. Para ello le asignaremos un número en lugar de su nombre en nuestras bases de datos.

VI. PERSONAL DE CONTACTO PARA DUDAS O ACLARACIONES

Si tiene preguntas o quiere hablar con alguien sobre este estudio de investigación puede comunicarse con:

Dr. Rubén Cryz Revilla
Departamento Neumología
Hospital Infantil de México Federico Gómez.
Tel. 52289917 ext 2090

VII. DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Se me ha explicado con claridad en qué consiste este estudio, además he leído (o alguien me ha leído) el contenido de este formato de consentimiento. Se me ha dado la oportunidad de hacer preguntas y todas mis preguntas han sido contestadas a mí satisfacción. Entiendo además que se me entregará una copia de este formato.

Al firmar estoy de acuerdo en que mi hijo(a) participe en la investigación que aquí se describe.

Nombre del padre, madre o tutor

Firma del padre o tutor

Fecha

Teléfono

Dirección

Nombre de quien obtiene el consentimiento informado (CI)

Firma del encargado de obtener el CI

Fecha

Testigos

Mi firma como testigo certifica que el/la participante firmó ese formato de consentimiento informado en presencia de manera voluntaria

Nombre del testigo 1

Parentesco

Firma de testigo 1

Fecha

Dirección

Nombre del testigo 2

Parentesco

Firma de testigo 2

Fecha

Dirección

HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

ASENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN MÉDICA

Función cardiopulmonar durante la prueba de ejercicio en pacientes pediátricos con sobrepeso y obesidad

Te estamos invitando, al igual que a otros niños y niñas a participar en este estudio de investigación médica que se lleva a cabo en el Laboratorio de Fisiología Respiratoria del Hospital Infantil de México Federico-Gómez y que servirá para conocer que tan bien trabaja tu corazón y tus pulmones durante el ejercicio. En este estudio participarán niños y niñas con peso normal, así como con sobrepeso y con obesidad.

Tu puedes elegir si participas o no de manera voluntaria. Hemos platicado de este estudio con tus papás/autores y ellos saben que te estamos preguntando a ti también si quieres participar. Si vas a participar en la investigación, tus papá, mamá o tutor también tienen que decir que sí. Pero si no deseas formar parte de esta investigación no tienes porqué hacerlo, aún cuando tus padres hayan dicho que sí.

Puedes preguntar sobre cualquiera de los puntos de este documento con tus papás o amigos o con cualquier persona con la que te sientas cómodo(a) y tomar la decisión de participar o no después de haberlo platicado. No tienes que decidirlo inmediatamente.

Puede que haya algunas palabras que no entiendas o cosas que quieras que te las explique mejor porque estás interesado(a) o preocupado(a) por ellas. Por favor, puedes pedirme que me detenga en cualquier momento y me tomaré tiempo para explicártelo.

¿Por qué se está haciendo esta investigación?

Queremos saber si la función cardíaca y respiratoria durante el ejercicio, es normal en niños y niñas con distintos pesos. Con ello podremos ayudar a niños y niñas con sobrepeso o con obesidad para prevenir problemas que limiten su vida normal.

Elección de participantes ¿Por qué me pide a mí?

La obesidad en los niños y niñas es un problema grave en México, que puede generar problemas en el funcionamiento del corazón y de los pulmones, principalmente cuando hacen ejercicio. Por eso estamos haciendo este

proyecto con niños y niñas sin enfermedades es decir sanos, de tu misma edad que tengan peso normal, sobrepeso o bien obesidad.

La participación es voluntaria ¿Tengo que hacer esto?

No tienes porque participar en ésta investigación si tu no lo deseas. Es tú decisión si quieres participar o no en la investigación. Si decides no participar, todo seguirá igual que antes. Incluso si dices que “sí” ahora, puedes cambiar de idea más tarde y eso no cambiará la atención o beneficios dentro del Hospital Infantil de México Federico Gómez.

Procedimientos ¿Qué me va a suceder?

Para realizar el estudio, lo primero es obtener tu peso y tu talla. Inmediatamente te realizaremos una espirometría. Este estudio consiste en realizar soplos largos, fuertes y sostenidos mediante una boquilla colocada en tu boca la cual está conectada a una computadora y que nos permitirá conocer la fuerza y el estado de salud de tus pulmones. Posteriormente se realizara una prueba de ejercicio en la cual se te colocarán unos electrodos sobre tu pecho con lo que mediremos la función de tú corazón, así como una mascarilla en la zona de tu boca conectada a una computadora, la cual medirá tu respiración y mediremos los gases que inhalas y exhalas durante la realización de un ejercicio. Para realizar el ejercicio, te subirás a una caminadora durante 10 minutos, la cual se mueve a una velocidad de 3.5 millas/hora. La prueba comprende 10 etapas, las cuales serán a una velocidad fija y en donde la caminadora irá subiendo de 0 a 22 grados de inclinación (como si caminaras rápidamente por una calle cuesta arriba). Durante el ejercicio mediremos su respiración, ritmo cardiaco, consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono.

Riesgos: ¿Es malo o peligroso para mí?

La espirometría es una prueba en la prácticamente no hay riesgos, algunos pacientes pueden sufrir mareo pasajero, por la fuerza que se realiza al soplar. Durante la prueba de ejercicio puedes sentir mareos, o sentir que te falta la respiración, de la misma manera que cuando haces un ejercicio constante, sobre todo si no estas acostumbrado a no hacer ningún deporte. De cualquier forma te mantendremos vigilado durante toda la prueba para que te sientas cómodo y en caso necesario, suspenderemos la prueba si así tú lo deseas o si encontramos alguna alteración en el transcurso de la prueba.

Beneficios: ¿Que de bueno puede ocurrirme?

Si participas, podremos decirte que tan sano estas y cuanto ejercicio toleras. Además si logramos detectar que los niños que tienen sobrepeso u obesidad tienen alteraciones en función cardiaca o respiratoria durante el ejercicio, podremos ayudar a reforzar los sistemas de prevención de estas alteraciones y prevenir complicaciones futuras.

Confidencialidad ¿Van a saber todos acerca de esto?

No diremos a otras personas que estás en esta investigación y no compartiremos información sobre ti a nadie que no trabaje en el estudio de investigación. La información recogida por la investigación será retirada y solamente los investigadores podrán verla. Cualquier información tuya tendrá un número en lugar de tu nombre. Solo los investigadores sabrán cual es tu número y guardarán la información con llave.

Derecho a negarse o retirarse de la investigación ¿Puedo elegir no participar en la investigación? ¿Puedo cambiar de idea?

No es obligatorio que participes en esta investigación. Nadie se enojará o molestará contigo si decides que no quieres participar. Eres libre de tomar la decisión. Puedes pensar en ello y responder más tarde si quieres. También puedes decir “sí” ahora y cambiar de idea más tarde y también estará bien.

A quien contactar: ¿Con quién puedo hablar para hacer preguntas?

Puedes hacer tus preguntas ahora o más tarde. Nos puedes localizar todos los días en el Departamento de Neumología Pediátrica del Hospital Infantil de México Federico Gómez, el teléfono es 55111498 en la extensión 2090, pregunta por el Dr. Rubén Cruz Revilla. Si quieres hablar con alguien más que conoces como tu profesor, médico o un familiar, puedes hacerlo también.

Si eliges ser parte de esta investigación, se te dará una copia de esta información para ti. Puedes pedir a tus papás que lo lean si quieres.

Formulario de Asentimiento

Entiendo que la investigación consiste en conocer mi función cardiaca y respiratoria durante una prueba de ejercicio.

Sé que puedo elegir participar en la investigación o no hacerlo y que puedo retirarme cuando quiera. He leído esta información (o se me ha leído esta información) y la entiendo. Me han respondido las preguntas y sé que puedo hacer preguntas más tarde si las tengo. Entiendo que cualquier cambio se discutirá conmigo.

Yo _____ he leído o me han leído el presente documento y he decidido;

No Aceptar _____ Aceptar _____ participar en este estudio.

Firma del niño(a)

Fecha

Solo en caso de que el menor no sepa leer:

He sido testigo de la lectura exacta del documento de asentimiento al menor _____ participante potencial para el protocolo de estudio titulado; *Función cardiopulmonar durante la prueba de ejercicio en pacientes pediátricos con sobrepeso y obesidad*. Me consta que el menor ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirmando que la decisión del menor de _____ fue tomada libremente y sin presión.

Nombre del testigo diferente a los padres:

Nombre del Testigo

Firma del Testigo

Parentesco: -----

Fecha: México D.F. a ____ de _____ del 2012.

Copia dada al participante----- (iniciales del investigador/asistente)

Huella dactilar del niño(a).

ANEXO 2

ETAPAS DE PROTOCOLO BALKE MODIFICACO

Etapa	Tiempo	Velocidad	Elevación banda
Reposo	2 minutos	0	0 grados
1	1 minuto	3.5 millas/hora	6 grados
2	1 minuto	3.5 millas/hora	8 grados
3	1 minuto	3.5 millas/hora	10 grados
4	1 minuto	3.5 millas/hora	12 grados
5	1 minuto	3.5 millas/hora	14 grados
6	1 minuto	3.5 millas/hora	16 grados
7	1 minuto	3.5 millas/hora	18 grados
8	1 minuto	3.5 millas/hora	20 grados
9	1 minuto	3.5 millas/hora	22 grados
Recuperación	3 minutos	1.5 millas/hora	0 grados

ANEXO 3

CALENDARIO

FECHA	BUSQUEDA DE INFORMACION	ELABORACION DE PROTOCOLO	PRESENTACION Y ACEPTACION DE PROTOCOLO	OBTENCION DE INFORMACION	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	ELABORACION DE INFORME TECNICO	PRESENTACION DE TESIS FINAL
07-11							
08-11							
09-11							
10-11							
11-11							
12-11							
01-12							
02-12							
03-12							
04-12							
05-12							
06-12							