Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

OBESIDAD Y PUBERTAD: EFECTOS EN EL DESARROLLO FUNCIONAL DE ESCOLARES Y ADOLESCENTES

Por:

MC. Luis Felipe Talavera Hernández

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE NUTRICIÓN

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Hermosillo, Sonora. Julio, 2023

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Luis Felipe Talavera Hernández, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias

Dra. María Isabel Ortega Vélez
Directora de tesis

Dra. Graciela Caire Juvera
Integrante del comité de tesis

Dra. Rosa Olivia Méndez Estrada
Integrante del comité de tesis

Dr. David Jiménez Pavón
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Obesidad y Pubertad: Efectos en el Desarrollo Funcional de Escolares y Adolescentes" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Luis Felipe Talavera Hernández, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos

CIAD

Dra. Graciela Caire Juvera
Directora General

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico que brindó durante el programa de posgrado, porque sin duda es una inversión que se realiza en formación de capital humano de alto nivel, el cual se convierte en un bien para la sociedad misma.

En segundo lugar quiero agradecer al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) por el compromiso y visión para administrar no solo los recursos económicos y materiales, sino a todo el personal, que con gran humanidad y dedicación se vuelcan cada día para el cumplimiento de un mismo objetivo, el quehacer científico en beneficio de la sociedad. Estoy muy contento y orgulloso de haber pertenecido a este centro de investigación que me dio tantas experiencias y conocimiento en mi transitar por el programa de doctorado.

Si bien la tesis doctoral no estuvo adscrita formalmente a un proyecto en particular, agradezco la gran disposición del proyecto encargado de la evaluación y seguimiento del programa de desayunos escolares en Sonora, el cual fue de gran ayuda para conectar con las escuelas que se convertirían en participantes de la investigación, así como los recursos en combustible para realizar el trabajo en campo.

No puedo dejar de agradecer también al grupo de trabajo que lidera la Dra. María Isabel Ortega Vélez, quien siempre veló porque mi experiencia fuera óptima, pues con paciencia y una gran visión me supo guiar hasta el día de hoy. Al equipo técnico, entrañables amigas y compañeras de aventuras durante este proceso, a la MCS. Alma Delia Contreras Paniagua que siempre estuvo ahí hombro a hombro en el trabajo de campo, abriéndome las puertas de su oficina y hasta de su propia casa a fin de que continuáramos avanzando en el posgrado, y por supuesto a la Maestra Gloria Elena Portillo Abril quien siempre tuvo las palabras precisas además de siempre facilitar cualquier gestión necesaria. En general al grupo de trabajo, a mis compañeras y compañeros de posgrado con quienes he podido compartir ideas, emociones y sobre todo experiencias que nos dejarán marcados para siempre, así como a todas y todos los practicantes y estudiantes de servicio social que fueron

pieza clave en la realización de éste proyecto y de los que me quedo como grandes amigos.

A los miembros de mi comité, a la Dra. Graciela Caire que con mucha paciencia siempre atendió todas mis dudas, a la Dra. Rosa Olivia por la confianza y el adiestramiento en el manejo y análisis de la Absorciometría Dual de Rayos X, y finalmente al Dr. David Jiménez por sus comentarios siempre asertivos y por la disponibilidad para aceptarme en una estancia de investigación con su grupo de trabajo.

A Dani, mi esposa, quien ha confiado en mí desde el primer día, con quien emprendí la aventura de avanzar en este paso académico con el ideal de desarrollarme en lo que me apasiona y perseguir junto con ello lo mejor para nuestra familia. Aunque la vida ha sido dura y complicada, solo nosotros sabemos las noches de desvelo, las crisis emocionales, mentales y financieras que han tenido que transcurrir y de las cuales hemos aprendido para seguir adelante y llegar a este punto. ¡Lo logramos!

A mi familia, mis hermanos que siempre orgullosos y atentos me han apoyado durante este camino, a Manrique quien en silencio siempre se ha preocupado por mi bienestar físico, mental y espiritual, y de manera muy especial a mi madre porque su apoyo incondicional, su amor y su paciencia han sido vitales para que el día de hoy terminar ésta etapa académica se convierta en realidad, por todas las horas invertidas escuchando mis ideas y proyectos, por darme la oportunidad de abrir las alas y darme el apoyo más grande que pude tener, la libertad de ser yo mismo, de perseguir mis sueños aunque éstos me llevaran lejos de casa, por compartir mi felicidad aunque muchas veces no estemos de acuerdo, por ser la mejor madre que pude haber tenido.

DEDICATORIA

A mis hijos,

Durante años, antes de su llegada, su mamá y yo soñamos con ustedes, con su felicidad y con su paz.

Hoy, antes de ver sus ojos y conocerlos, les dedico este tiempo de nuestra vida, en este documento se plasma el esfuerzo y dedicación de algunos años que serán claves para el futuro. No solo en lo profesional, si no personalmente, estos años son un parte aguas que cambio nuestras vidas.

Ésta aventura, que significó tantos cambios en nuestra comodidad, fue impulsada por nuestra idea de que ustedes vivieran en un entorno diferente al nuestro, que tuvieran oportunidades para vivir experiencias diferentes. No obstante debo admitir, no que estábamos equivocados, más bien no pudimos visualizar que en este tiempo también nos forjaríamos una salud mental y emocional que se convertirá en la plataforma de valores y principios con los que ahora, cuando lean esto, están creciendo. No todo es tan fácil como parece.

Finalmente, les diré que este ejemplo de superación, de alcanzar metas, de vivir nuestros sueños, es tan posible como ustedes se lo propongan y se disciplinen. Cuenten con nosotros en cada uno de sus sueños, ese fue el regalo más grande que me dió mi madre y el que ahora les puedo ofrecer.

Con amor, papá.

CONTENIDO

APROBACIÓN 2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL 3
AGRADECIMIENTOS 4
DEDICATORIA 6
CONTENIDO 7
LISTA DE FIGURAS 8
LISTA DE CUADROS 9
RESUMEN 10
ABSTRACT 11
1. SINÓPSIS 12
1.1 Justificación 12
1.2 Antecedentes 12
1.2.1 Obesidad Infantil en México 12
1.2.1.1. Situación actual 12
1.2.1.2. Definición de obesidad y tejido adiposo visceral 13
1.2.1.3. Evaluación del Sobrepeso, Obesidad y Tejido Adiposo Visceral en Niños y Adolescentes 15
1.2.2. Maduración Física en la Pubertad 17
1.2.2.1. Definición conceptual y dimensiones de estudio 17
1.2.2.2. Factores que pueden determinar las alteraciones del tiempo y tempo de la maduración física 19
1.2.3. Asociación Entre Obesidad y la Maduración Física 20
1.2.4. Iniciación Deportiva y Maduración Física 21
1.3 Hipótesis 23
1.4 Objetivo General 23
1.5 Objetivos Específicos 24
1.6 Sección Integradora del Trabajo 24
3. EFICIENCIA DE INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS Y DE COMPOSICIÓN CORPORAL EN EL DIAGNÓSTICO DE OBESIDAD ABDOMINAL INFANTIL 26
4. OBESITY IN MEXICAN CHILDREN AND ADOLESCENTS: ASSOCIATION TO PUBERTAL ALTERATIONS AND MUSCULAR STRENGTH 37
5. CONCLUSIONES GENERALES 54
6. RECOMENDACIONES 55
7. REFERENCIAS 56

LISTA DE FIGURAS

Figura **Página**

1 Parámetros de la maduración puberal que son evaluables mediante la curva de crecimiento 18

2 Sensibilidad para el desarrollo de aptitudes físicas en relación al PHV..... 22

3 Gráficos de concordancia de Bland Altman entre el tejido adiposo visceral evaluado mediante DEXA (TAV) y el índice de masa corporal (IMC) [a], circunferencia de cintura (CC) [b] e índice de cintura estatura (ICE) [c] 31

LISTA DE CUADROS

Cuadros **Página**

1 Características generales de la población de estudio y las diferencias según el sexo 30

2 Prevalencia de normo peso y sobrepeso + obesidad de acuerdo a diferentes indicadores 30

3 Coeficiente de determinación (R^2) de indicadores antropométricos para estimar el tejido adiposo visceral 31

4 Concordancia entre indicadores antropométricos y el TAV mediante el análisis Bland Altman 31

5 Concordancia en el diagnóstico de normo peso y sobrepeso más obesidad usando diferentes métodos según el índice kappa de Cohen 31

6 Socioeconomic, demographic, and general description of the study sample by school age and sex 43

7 Variables related to pubertal timing and tempo 44

8 Association of pubertal timing maturation with waist circumference and body mass index in the total sample 45

9 Association of Δ height to waist circumference and other relevant variables 46

10 Association of muscular strength with abdominal obesity and pubertal maturation in the total sample 46

RESUMEN

Introducción. La obesidad infantil se ha extendido por todo el mundo y afecta en México a una cantidad alarmante de niños y adolescentes, por su parte los programas de intervención han presentado dificultades para mantener sus resultados en el tiempo. Los estudios indican que la obesidad interfiere en los procesos de maduración física, adelantando y probablemente haciendo que sucedan más rápido. Al mismo tiempo, en el campo de la iniciación deportiva la maduración física en niños es útil para seleccionar perfiles debido a su capacidad para desarrollar aptitudes físicas como fuerza y potencia. Sin embargo, los niños con obesidad son comúnmente excluidos de la práctica deportiva. El objetivo del estudio fue analizar la interacción entre obesidad y la maduración física y sus efectos sobre el desempeño de la fuerza en niños y adolescentes. Materiales y métodos. Se evaluó en un estudio longitudinal a 125 niños (58% mujeres, 8.9 ± 0.4 años) y 82 adolescentes (45% mujeres, 12.8 ± 0.3 años) de escuelas públicas en Hermosillo, Sonora, México. Se midieron peso, estatura, estatura sentado, circunferencia de cintura (CC), fuerza prensil y el cambio en estatura en 6 meses (Δtalla); se estimó la Edad a la Velocidad Pico de Crecimiento (aPHV) mediante ecuaciones de predicción, el Índice de Masa Corporal (IMC), Índice Cintura Estatura (ICE). El nivel de actividad física se estimó mediante el cuestionario PAQ-C y el nivel socioeconómico mediante el cuestionario AMAI (2018), así como el ingreso familiar mensual. Se midió el Tejido Adiposo Visceral (TAV) mediante Absorciometría Dual de Rayos X (DEXA) en una submuestra de 59 niños (47.5% mujeres, 10.6 ± 2.1 años). Resultados. La CC fue el indicador más sensible para predecir el TAV ($R^2 = 0.90$). El incremento en cada centímetro de la CC se asoció con una anticipación en 0.006 años en la aPHV ($p = 0.010$), pero no se observó asociación con Δtalla ($\beta = -0.012$, $p = 0.146$). La fuerza prensil mejoró en 0.098 kg y 3.86 kg con cada aumento de CC y aPHV respectivamente ($p < 0.005$). Conclusiones. Los niños con altos niveles de CC presentan más temprano su maduración física; además, esta combinación se asocia con un mejor desempeño en la fuerza prensil. Estos resultados podrían beneficiar la participación de todos los niños en deportes de acuerdo con sus aptitudes y ello contribuiría a los esfuerzos preventivos en salud.

Palabras Clave. Obesidad infantil, Maduración temprana, Fuerza prensil, Absorciometría dual de rayos X.

ABSTRACT

Introduction. Childhood obesity is a worldwide health issue, and many Mexican children and adolescents have been affected. In addition, programs aimed to reduce or prevent population overweight, and obesity have struggled to maintain results over time. On the other hand, studies show that obesity is related to an earlier pubertal maturation (timing) and probably to time to attain it (tempo); also, sports initiation research indicate that pubertal timing is useful to identify athlete prospects regarding their capability to develop physical attitudes, such as strength and power. Unfortunately, children with obesity are commonly excluded from sports. The aim of this study was to analyse obesity and pubertal timing and tempo, and their association to strength performance in Mexican children and adolescents. **Material and methods.** A longitudinal study was conducted including 125 children (58% girls, 8.9 ± 0.4 years) and 82 adolescents (45% girls, 12.8 ± 0.3 years) from public schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. We measured weight, height, sitting height, waist circumference (WC), prehensile strength and 6 months differences in height (Δheight); we calculated age at peak height velocity (aPHV) (using equations), Body Mass Index (BMI), and Waist to Height Ratio (WHR); physical activity level was estimated using the PAQ-C questionnaire, the score developed by AMAI (2018) to evaluate family socioeconomic level and we registered family monthly income. Visceral Adipose Tissue (VAT) was evaluated by Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) for a subsample of 59 children (47.5% girls, 10.6 ± 2.1 years). **Results.** WC was the most sensible predictor of VAT (R^2 = 0.90). Increases in each centimetre of WC was related to 0.006 years of anticipation of aPHV (p = 0.010), but no association was found with Δheight (β = -0.012, p = 0.146). Prehensile strength increased in 0.098 and 3.86 kg with each increase in WC and aPHV respectively ($p < 0.005$). **Conclusions.** Children with high WC have an earlier physical maturation. Children with high WC and earlier physical maturation, have better prehensile strength performance. This data could be useful to improve the intervention programs and public policies aimed to decrease childhood obesity.

Key words. Children obesity, Pubertal timing, Prehensile strength, Dual energy X-ray absorptiometry.

1. SINÓPSIS

1.1. Justificación

En 2016 las autoridades sanitarias de México declararon la obesidad como emergencia epidemiológica nacional, instando al desarrollo de estrategias que coadyuvaran al bienestar de la sociedad en el corto y largo plazo (Secretaría de Salud, 2016). Lo anterior debido a que las prevalencias de sobrepeso y obesidad siguen en aumento en las últimas décadas derivando en alteraciones en el estado de salud, así como un impacto económico y social considerable (Shamah-Levy et al., 2021).

Debido a la complejidad que representa la obesidad, los esfuerzos por desarrollar estrategias de intervención y políticas públicas para frenar su impacto en los diferentes grupos etarios y sociales han resultado positivos, pero no sostenibles en el tiempo, por lo que es necesario seguir explorando estrategias que aporten bases de adherencia en el largo plazo (Rivera-Barragán et al., 2021). Al respecto, algunos estudios indican que los niños que llegan a la edad en que inician su proceso de maduración puberal con obesidad, tienen mayor probabilidad de que su índice de masa corporal aumente paulatinamente y se sostenga hasta la vida adulta (Bratberg et al., 2007; Kindblom et al., 2009). Por lo anterior, los niños y adolescentes son una población particularmente sensible en la que la oportunidad de cambio en el largo plazo es más viable.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Obesidad Infantil en México

1.2.1.1. Situación actual. El sobrepeso y la obesidad se han convertido en problemas de salud pública en las últimas décadas y afectan a todas las regiones del mundo (Noubiap et al., 2022); en

este contexto, el fondo de las naciones unidas para la infancia (UNICEF) ha catalogado a México como el país con el primer lugar a nivel mundial en obesidad infantil y el segundo en obesidad en adultos (UNICEF, 2022). Por su parte, en México la encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT) reportó un incremento del 2.7 y 5.4% en la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en niños de 5 a 11 años y adolescentes de 12 a 19 años entre las evaluaciones realizadas en 2018 y 2020; ello corresponde al periodo que incluye el confinamiento derivado de la contingencia epidemiológica por COVID-19, con prevalencias combinadas de 38.2 y 43.8% respectivamente (Shamah-Levy et al., 2021). Así mismo, desde 2016 se ha declarado a la obesidad como emergencia epidemiológica nacional, dando lugar a la necesidad de desarrollar esfuerzos para prevenir y tratar la obesidad a través de cuatro acciones concretas: "darle visibilidad a la problemática de salud, mediante el convencimiento a la población de que se necesita su participación; segundo, catalogarla de alta prioridad; tercero, buscar la coordinación con todas las instancias, gobierno federal y todos los niveles de gobierno y, cuarto, encontrar la forma de asegurar los insumos para la detección oportuna temprana y el tratamiento de la enfermedad" (Secretaría de Salud, 2016).

Según la ENSANUT (2020), la región norte de México, en donde se ubica Sonora, había sido la afectada históricamente por la obesidad en niños de 5 a 11 años, con una tasa sostenida de 17.6% en las encuestas nacionales de 2012 y 2016 y con incremento reciente hasta 19.6%, no obstante, recientemente otras regiones como en el centro del país han concentrado una mayor cantidad de niños con este padecimiento afectando hasta 24% de su población infantil (ENSANUT, 2016; Shamah-Levy et al., 2021).

1.2.1.2. Definición de obesidad y tejido adiposo visceral. El sobrepeso y la obesidad corresponden al exceso de peso en masa grasa y se han vinculado con el desarrollo de enfermedades metabólicas que disminuyen el estado de salud y la calidad de vida; su clasificación depende del cálculo del índice de masa corporal (IMC= peso/talla^2) para dar lugar a las categorías de sobrepeso y obesidad (Ciangura et al., 2017); dicha metodología, sin embargo, requiere ajuste por la edad cuando se evalúa a niños y adolescentes, considerándose el valor z del IMC > +1 para el diagnóstico de sobrepeso y z del IMC > +2 para obesidad (Onis et al., 2007). Actualmente otros indicadores como la circunferencia de cintura (CC) y el índice cintura estatura (ICE) también se utilizan para el

diagnóstico de obesidad abdominal en población infantil, usando como punto de corte el percentil 90 e ICE > 0.5, respectivamente (Valle-Leal et al., 2016; Xi et al., 2020). El sobrepeso entonces, se conceptualiza como una condición de transición y riesgo de padecer obesidad, mientras que la obesidad es una enfermedad crónica. Ambos se utilizan como indicadores para caracterizar el estado nutricional de una persona y se asocian fuertemente con la adiposidad y las muertes causadas por enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedad crónica renal, desordenes musculo esqueléticos y algunos tipos de cáncer (Faienza et al., 2020; Noubiap et al., 2022).

Otro de los indicadores relacionados con la obesidad que se utiliza en la definición del riesgo nutricio es la adiposidad. Ésta corresponde puntualmente al tejido adiposo y se divide en dos tipos: el blanco (White Adipose Tissue= WAT) que está formado de células uniloculares y con gran capacidad de almacenar triglicéridos y el marrón (Brown Adipose Tissue = BAT), que contiene adipocitos multiloculares y ricos en mitocondrias. Es crucial comprender que desde los 1990´s con el descubrimiento de la hormona leptina, el tejido adiposo se reconoce como un órgano endócrino importante (Zhang et al., 1994), más aún, en las últimas dos décadas se ha profundizado en el estudio del rol de los diferentes depósitos de tejido adiposo como órganos independientes, pero que en la complejidad de su conjunto intervienen en la homeostasis de toda la energía corporal (Schoettl et al., 2018).

La asociación del tejido adiposo con enfermedades se ha estudiado con esmero; en una revisión realizada por Tandon y colaboradores (2018), se concluyó que es la morfología hipertrófica del adipocito la que se asocia con varias perturbaciones metabólicas, incluyendo cambios en los niveles de glucosa en plasma, niveles de lípidos e insulina, resistencia a la insulina y susceptibilidad a enfermedades (Tandon et al., 2018).

Por su parte, el tejido adiposo blanco (WAT) se divide en tejido subcutáneo (Subcutaneus abdominal adipose tissue= SAT) y tejido visceral (Visceral adipose tissue= VAT) (Schoettl et al., 2018) y aunque ambos están relacionados con los factores de riesgo metabólicos, es el VAT el que tiene una relación más fuerte y se considera el principal factor de riesgo para desarrollar síndrome metabólico (Matsha et al., 2019). Con esto en cuenta, es importante evaluar ambos tipos de tejidos (SAT y VAT), para lo cual existen diversos métodos que varían en fiabilidad, precisión y accesibilidad y se clasifican en directos, indirectos y doblemente indirectos. Entre ellos destacan la absorciometría dual de rayos X (DXA) por su capacidad para evaluar indirectamente, pero con alto nivel de precisión la composición corporal; además, la antropometría, un método doblemente

indirecto, considerado así al basarse en otras metodologías, destaca por su practicidad, sencillez y facilidad de interpretación (Moreira et al., 2015).

1.2.1.3. Evaluación del sobrepeso, obesidad y tejido adiposo visceral en niños y adolescentes. La antropometría es un método que consiste en evaluar dimensiones corporales como el peso corporal total, estatura, estatura sentado, envergadura, pliegues cutáneos, circunferencias, longitudes, alturas y diámetros óseos, mismas que se han estandarizado internacionalmente por la Sociedad Internacional de Avances en Cineantropometría (ISAK) (Stewart et al., 2011). En la búsqueda para determinar ambos tejidos (VAT y SAT) en estudios con muestras amplias, es necesario considerar distintas técnicas de análisis antropométrico como la composición corporal y los índices antropométricos, ya que no existe una técnica única que explique con precisión ambos tejidos por separado (Moreira et al., 2015).

La antropometría estima la grasa corporal con base en ecuaciones de predicción a partir de pliegues cutáneos; existen fórmulas específicas para niños, sin embargo, la mayoría (tanto para niños como adultos) se basan en las premisas de estimar la densidad corporal y a partir de ello calcular la grasa total, característica por la cual se cataloga como un método doblemente indirecto en la estimación de la composición corporal (Gatica et al., 2016). Aunque estas ecuaciones son ampliamente utilizadas, se debe considerar que existe una subestimación notable en el tejido adiposo, debido a que el método bioquímico considera una densidad constante del tejido graso de 0.9 g/ml y contempla para ello solo los triglicéridos y deja fuera de la ecuación a los fosfolípidos y el colesterol, que aportan mayor densidad al tejido adiposo (Ribeiro & Lopes, 2017; W. D. Ross & Kerr, 1991).

Otra opción es el modelo de fraccionamiento de 5 masas de Ross y Kerr (1991), el cual se desarrolló bajo los conceptos del trabajo de disección de cadáveres de Indrich Matiegka (1921), continuado por Drinkwater en 1984. El modelo mejora de manera importante el cálculo del tejido adiposo sobre el resto de las ecuaciones existentes, aunque se usa principalmente en el ámbito deportivo (Ribeiro & Lopes, 2017) y se ha reproducido en niños y adolescentes como en los estudios de Torres y colaboradores (2014), e Hidalgo y colaboradores, (2015) (Hidalgo et al., 2015; Torres et al., 2014).

La evaluación mediante éstas técnicas y ecuaciones podría ser más sensible en intervenciones

individuales debido al nivel y precisión de la información necesaria, que con bajo presupuesto, ayudan a diferenciar en general los compartimentos de la composición corporal en comparación con otros indicadores más comúnmente usados en estudios poblacionales (IMC e Índice Cintura-Cadera) (Gatica et al., 2016). Sin embargo, el método de fraccionamiento de Ross y Kerr (1993) incluye en la estimación de grasa corporal a los depósitos subcutáneos, el depósito omental que rodea órganos y vísceras y el depósito intramuscular; debido a su incapacidad para distinguir entre VAT y SAT, algunos estudios sugieren otros indicadores antropométricos para una mejor predicción del VAT en estudios poblacionales (Tanamas et al., 2016).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la evaluación del sobrepeso y obesidad mediante la determinación del IMC; en los niños, a diferencia de los adultos, la clasificación no depende directamente de la estimación del IMC, sino que debe ajustarse a las tablas por edad. Así, se considera que existe sobrepeso cuando el valor del peso sobre la talla al cuadrado sea mayor de una desviación estándar sobre la mediana de la referencia de crecimiento de la OMS y obesidad cuando sea mayor de 2 desviaciones estándar (Bristol (Reino Unido): Development Initiatives., 2021; Onis et al., 2007). Sin embargo, hay evidencia creciente que apunta a que la OMS debe reconsiderar el uso único del IMC para abordar el sobrepeso y la obesidad; otros indicadores recomendados son la circunferencia de cintura, el índice cintura-cadera, la circunferencia de cuello, el índice de conicidad, la relación cuello-muslo, circunferencia de cintura-muslo, el diámetro sagital, el índice de adiposidad y la relación de circunferencia de cintura-estatura (Kelishadi et al., 2015; Ruiz De Eguilaz et al., 2010; Valle-Leal et al., 2016). De las mencionadas, se sugiere que la circunferencia de cintura, por ser una medida localizada, es la que podría tener mayor relación con el VAT, incluso por encima de la relación cintura-cadera y el IMC (R. Ross et al., 2020; Valle-Leal et al., 2016).

Si bien el uso aislado de los indicadores antropométricos no es suficiente para determinar el VAT, existen esfuerzos que proponen el análisis de sensibilidad para estimar el VAT mediante la inclusión de una variedad de éstos indicadores en un modelo de regresión lineal, aunque solo en población adulta, por lo que se sugiere replicar las metodologías en población infantil (Pinho et al., 2017).

1.2.2. Maduración Física en la Pubertad

1.2.2.1. Definición conceptual y dimensiones de estudio. La pubertad se define como la etapa de desarrollo que transforma el cuerpo del niño al del adulto, con cambios físicos y hormonales que culminan en la maduración sexual y capacidad reproductiva y que dependen de mecanismos genéticos, ambientales y neuroendocrinos (Medeiros et al., 2014). Es por ello que la edad cronológica no necesariamente corresponde con la maduración biológica, e incluso ésta no obedece estrictamente a una escala de tiempo (Cameron, 2015). De tal manera que cuando la maduración no solo se concibe como una serie de acontecimientos hormonales que resultan en caracteres sexuales secundarios, sino como un proceso de crecimiento y desarrollo del individuo, entonces las aplicaciones que tienen los estudios de este proceso pueden ser muy variadas y útiles.

Se ha analizado el impacto que las diversas variables relacionadas con la maduración física durante la pubertad pueden tener en la salud, siendo algunas de ellas el desarrollo dental (Demirjian et al., 1985), el desarrollo óseo (Prasad et al., 2013), los cambios en caracteres sexuales secundarios como el volumen testicular, crecimiento de mama y aparición del vello púbico (Tanner JM, 1990), el cambio de voz (Harries et al., 1997), la evaluación de hormonas gonadales (Singh et al., 2015) y el propio aumento de la talla mediante las curvas de crecimiento (Johnson, 2015). Sin embargo, a pesar de la diversidad de variables disponibles para estudiar los cambios en la maduración puberal, algunos de ellos no son viables para estudios epidemiológicos, debido principalmente a que los instrumentos requeridos o metodologías empleadas suelen ser demasiado costosas e invasivas, por lo que el seguimiento de la talla y el registro de la menarquia en mujeres, son los métodos más utilizados en estudios poblacionales (Baird et al., 2017).

En general, existen 3 dimensiones que se pueden identificar a partir de los cambios en la estatura: el tiempo, la velocidad y el tamaño (Figura 1 (T. J. Cole et al., 2010)), que a su vez se pueden entender como [tiempo] el rompimiento de un crecimiento lineal de la niñez dando lugar a la "curva" en el crecimiento, [velocidad] el tiempo que le toma a cada individuo completar el proceso de la pubertad y [tamaño], la estatura total ganada durante la pubertad (T. Cole et al., 2016). Adicionalmente, otros estudios también hablan de otras variables, como la sincronía, refiriéndose a ésta como la aparición de los caracteres sexuales secundarios y su aparente sincronización con otros eventos, como pudiera suceder en el caso de la menarquia y el tiempo de inicio de la pubertad (Nuñez Almache, 2015).

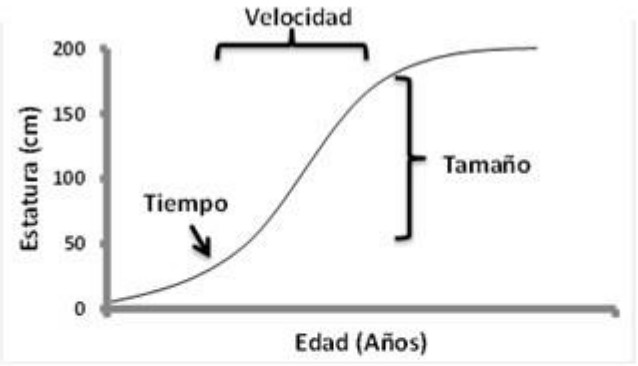


Figura 1. Parámetros de la maduración puberal que son evaluables mediante la curva de crecimiento. A partir de varias mediciones de la estatura a lo largo del tiempo, es posible evaluar la curva de crecimiento individual en parámetros como el tiempo, la velocidad y el tamaño, con la posibilidad de asociar cada una de estas variables con indicadores de riesgo.

Adaptado de: Cole y colaboradores (2010)

El comienzo de la maduración física (Tiempo), es quizás la dimensión de la maduración física más estudiada, indicando el inicio de la pubertad y todos los cambios hormonales de crecimiento y desarrollo asociados. La definición en general permite la diferenciación en maduradores tempranos, promedio y tardíos, lo que permite vincular ésta condición a cambios de comportamiento, pero también a enfermedades mayormente asociadas con los efectos de la obesidad y en la salud ósea (Huang & Roth, 2021; Kuh et al., 2016; Mendle, 2014; Nuñez Almache, 2015). Debido a la ambigüedad en su definición y la diversidad de variables para evaluar el progreso en la maduración física, no existe en la actualidad una homologación para caracterizar la maduración temprana o tardía mediante una medida en particular; aunque es cierto que la caracterización sexual es lo más cercano a un estándar, existen diferentes escalas para determinar una maduración temprana usando ésta metodología (Farello et al., 2019).

Como se mencionó con anterioridad, el análisis de los cambios en la talla es uno de los métodos para estudiar las dimensiones de la maduración física más replicados en estudios poblacionales (Baird et al., 2017); en este contexto, algunos autores han definido la edad a la velocidad pico de crecimiento (age of peak height velocity – aPHV) como un parámetro en el que los niños tienen una mayor tasa de crecimiento, parámetro que no debe confundirse con la edad de despegue (age of take-off) o inicio de la curva de crecimiento. Mientras que el primero (aPHV) implica el momento crítico de la curva de crecimiento en donde hay una aceleración de los procesos de crecimiento y maduración, el segundo (edad de despegue) es el momento casi imperceptible en que

la tasa de crecimiento (centímetros/año) pierde su linealidad para convertirse en una curva de crecimiento (Tsutsui et al., 2022).

Actualmente existen diferentes métodos para evaluar la aPHV en estudios longitudinales. Una de ellas es el modelado de curvas de crecimiento a partir de mediciones longitudinales de la talla, aunque la principal limitación es el tiempo de seguimiento; en general se recomienda realizar un mínimo de 4 mediciones de la talla con una diferencia de 6 meses entre cada medición (T. J. Cole, 2018; Simpkin et al., 2017). Por otro lado, cuando el seguimiento longitudinal no es viable, algunos autores han desarrollado ecuaciones de predicción para estimar el tiempo en años respecto al aPHV (Fransen et al., 2021; Mirdwald et al., 2002).

Mientras que el tiempo de la maduración física corresponde a la diferenciación entre maduradores tempranos, promedios y tardíos, la velocidad (tempo) se evalúa en el tiempo que le lleva a cada individuo en completar el proceso de desarrollo de la maduración física, comprendiendo desde la edad de despegue (age of take-off) hasta la edad a la que los individuos alcanzan su máxima estatura; de acuerdo con la hipótesis de comprensión de la maduración, una mayor velocidad demandará mayor adaptación biológica y psicosocial a diferencia de un cambio progresivo (Mendle, 2014).

1.2.2.2. Factores que pueden determinar las alteraciones del tiempo y tempo de la maduración física. Las diferencias individuales con que se presentan las etapas de la pubertad están mediadas por factores intrínsecos y extrínsecos, mismos que deben ser tomados en cuenta cuando se estudia la asociación de las alteraciones de la pubertad con resultados en salud.

Factores como la genética y la epigenética tienen un rol importante en las diferencias observables respecto al tiempo y velocidad de maduración física de niños y adolescentes. Al respecto, Wehkalampi y colaboradores (2008) mencionan que los factores genéticos pueden contribuir a la determinación del tiempo en que se presenta la pubertad en 86 y 82% en niñas y niños respectivamente (Wehkalampi et al., 2008). De manera similar, Wohlfahrt-Veje y colaboradores (2016) reportaron que aquellos padres que fueron maduradores tempranos, tuvieron hijos que presentaron el inicio de su maduración física antes que sus pares (Wohlfahrt-Veje et al., 2016).

No obstante, otros estudios también reportan que las condiciones de vida de los hogares están mediados por factores ambientales como los económicos, sociodemográficos y hábitos alimentarios y que éstos a su vez pueden contribuir a la inseguridad alimentaria en los niños.

Debido a la replicación de estas condiciones de vida durante un periodo crítico de crecimiento, estas nuevas conductas podrían explicar parcialmente la herencia de patologías crónicas no transmisibles; por ello, cada vez son más relevantes las intervenciones epidemiológicas enfocadas en variables con un impacto en el ambiente en hogares con niños en esta etapa del crecimiento y desarrollo (Corley et al., 2015).

1.2.3. Asociación Entre Obesidad y la Maduración Física

La obesidad se ha relacionado de diferentes maneras con la alteración del proceso de maduración física, ya que el exceso de adiposidad induce altos niveles de leptina, que a su vez da comienzo a una cascada de sucesos hormonales que modulan la maduración física (Nieuwenhuis et al., 2020; Ohlsson et al., 2017). Al respecto, desde hace 20 años autores como Freedman y colaboradores (2003) reportaban que un peso y talla elevado para la edad, en conjunto con pliegues subcutáneos gruesos, están asociados con la aparición temprana de la menarquia (Freedman et al., 2003); otros autores observaron que los niños que llegaron a la pubertad con obesidad abdominal tienden a aumentarla en su paso por la adolescencia, comparados con aquellos que llegaron a la pubertad con una circunferencia de cintura menor (Bratberg et al., 2007; Buyken et al., 2011). Este proceso afecta principalmente a las niñas (De Leonibus et al., 2014; Nieuwenhuis et al., 2020).

Otros estudios también han reportado una asociación entre las comorbilidades de la obesidad y la pubertad, como es el caso de la resistencia a la insulina y los niveles del eje GH/factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1 (IGF-1), que son considerados predictores de maduración precoz (Nuñez Almache, 2015). Incluso, el síndrome metabólico se ha vinculado con una maduración temprana (Won et al., 2016), aunque esto también se ha reportado principalmente en niñas (Macias, 2014).

1.2.4. Iniciación Deportiva y Maduración Física

El tiempo en que se presenta la maduración física en la pubertad se considera un factor muy

relevante en el rendimiento y desarrollo de las aptitudes físicas en adolescentes, por esta razón es una variable de gran interés en el ámbito deportivo (Asadi et al., 2017). Además, el proceso de la maduración física en la pubertad influye de manera transversal en otros factores individuales que también contribuyen en la determinación de un rendimiento deportivo óptimo, tales como la coordinación neuromuscular, las capacidades y habilidades técnico-tácticas, factores morfológicos, el estado de salud y la personalidad (Verdugo, 2015).

Algunos autores proponen el uso del tiempo de la maduración puberal para distinguir entre maduradores tempranos, promedios y tardíos, tomando como referencia la edad a la velocidad pico de crecimiento (age at peak height velocity = aPHV), como un parámetro coadyuvante en la detección de talentos deportivos en poblaciones infantiles. El uso de dicha metodología permite canalizar directamente a niños deportistas según su nivel y potencial de desarrollo en las aptitudes físicas básicas de la práctica deportiva, facilitando la planificación y administración de la intervención deportiva en el mediano y largo plazo. Los autores explican que mientras que la velocidad y flexibilidad se desarrollan con mayor eficiencia previo a la aPHV, la fuerza y potencia muscular se desarrollan mejor después de haber alcanzado la aPHV; y finalmente el momento más sensible para desarrollar las adaptaciones fisiológicas relativas a la velocidad aeróbica máxima corresponden con el momento en que sucede la aPHV, tal como se representa en la Figura 2 (Malina et al., 2015; Verdugo, 2015). Sin embargo, esta ventaja puede estar condicionada, entre otras variables, por parámetros relativos a la composición corporal, que a su vez están relacionados con la maduración temprana o tardía (Sanders et al., 2017).

Figura 2. Sensibilidad para el desarrollo de aptitudes físicas en relación al PHV. Identificación del momento más oportuno para abordar el desarrollo y formación de las principales aptitudes físicas con relación a la velocidad pico de crecimiento (PHV).

Adaptado de: Malina y colaboradores (2015); Verdugo (2015)

En la actualidad, los investigadores que desean evaluar la maduración como coadyuvante en la detección de talentos deportivos en estudios epidemiológicos o en la práctica clínica, cuentan con métodos menos invasivos, económicos o metodológicamente más simples que los usados en el laboratorio, como pudieran ser los años previos o posteriores al PHV y el porcentaje alcanzado de la estatura individual esperada (ej. Al momento de la aPHV se estima que se ha alcanzado el 90% de la estatura esperada) (Sanders et al., 2017). Si bien cada método debe ser elegido con cuidado, su interpretación y combinación con otros métodos dependen del contexto deportivo y características étnicas (Fransen et al., 2021).

De acuerdo con lo anterior, el momento ideal para el desarrollo de programas focalizados en el desarrollo de las aptitudes físicas coincide con la etapa escolar, de manera que las escuelas se convierten en un espacio en donde convergen elementos que las propician para este fin entre muchos otros. En este sentido se ha observado una diferencia muy marcada entre países en la administración del espacio y tiempo para la promoción de la actividad física (Bann et al., 2019). Mientras que en la unión europea programas como el estudio HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) se han desarrollado para monitorear y promover la condición física en escuelas de la región (Ortega et al., 2011). En países como México, el tiempo dedicado para la educación física en escuelas primarias y secundarias varía entre 1 y 2 horas semanales. Esto es de acuerdo con el ajuste en la asignación de horas lectivas publicado en el diario oficial de la federación (Lineamientos de Ajuste a Las Horas Lectivas, 2020), aunque las escuelas particulares han creado un sistema de competencias que promueven el deporte en este nivel educativo, lo que coincide en general en diversos países en donde la actividad física vigorosa fuera de las escuelas esta mediada por el nivel socioeconómico (Bann et al., 2019).

1.3 Hipótesis

Con base en el impacto que puede tener la obesidad en los procesos de maduración puberal, así como la relevancia que tiene el estatus de maduración en las aptitudes relacionadas con la actividad física y el deporte, se desarrollaron las siguientes hipótesis de investigación:

Ho1. El aumento en el IMC y/o circunferencia de cintura se asocia con un inicio temprano y una mayor velocidad de progresión en la maduración puberal de escolares y adolescentes de

Hermosillo, Sonora.

Ho2. El aumento en los indicadores de obesidad así como el inicio temprano y la progresión rápida de la maduración puberal, se relacionan con un mejor desempeño en las aptitudes físicas de escolares y adolescentes, especialmente en la fuerza y la potencia muscular.

1.4 Objetivo General

Para responder las hipótesis planteadas, el objetivo general de la presente investigación fue analizar la relación del IMC y la circunferencia de cintura de escolares y adolescentes con el tiempo y velocidad en que transcurre la maduración puberal, así como su efecto en las aptitudes físicas.

1.5 Objetivos Específicos

De lo anterior se desprenden los siguientes objetivos específicos para una muestra de escolares y adolescentes:

1. Evaluar el estado nutricional mediante el IMC para la edad y la circunferencia de cintura.
2. Evaluar el desempeño de aptitudes físicas a través de la fuerza prensil.
3. Identificar el tiempo y velocidad de maduración mediante ecuaciones de predicción y el seguimiento en los cambios de la estatura cada 6 meses.
4. Analizar la asociación entre el IMC y la circunferencia de cintura con el tiempo y la velocidad de la maduración puberal.
5. Analizar la relación entre la obesidad, la maduración puberal y las aptitudes físicas.

1.6 Sección Integradora del Trabajo

El desarrollo de la presente tesis se concentra en dos publicaciones que constituyen las partes 2 y

3 en este documento. La primera se titula “Eficiencia de indicadores antropométricos y de composición corporal en el diagnóstico de obesidad abdominal infantil”, en el que se analizan distintos indicadores de obesidad abdominal en niños y adolescentes. Dicho análisis resulta útil debido a que la evidencia científica indica que el exceso en el tejido adiposo visceral (TAV), característico de la obesidad abdominal, es el principal factor en la alteración hormonal que desencadena los cambios en la maduración biológica. Además, a pesar de que existen estudios que respaldan que la circunferencia de cintura (CC) en adultos tiene capacidad predictiva del TAV, no es el caso en la población infantil.

Los resultados respaldan el uso de la CC para diagnosticar obesidad abdominal en la población de estudio y constituyen parte de las herramientas en el desarrollo de los objetivos específicos 1 y 4, siendo además, esta caracterización de la obesidad la más relevante en la Ho1, pues el estudio demostró que la CC fue el indicador antropométrico más eficiente (R^2= 90) respecto al índice cintura estatura (ICE) (R^2= 86) y el índice de masa corporal para la edad (IMC) (R^2= 77). Así mismo, el análisis de Bland y Altman indicó buena concordancia entre CC-TAV e ICE-TAV, y finalmente el índice Kappa mostró un buen nivel de concordancia (Kappa ≥ 0.6) cuando se evaluó la capacidad diagnóstica de obesidad entre los diferentes indicadores. Este estudio concluyó que el uso de la CC es el indicador antropométrico más adecuado en la evaluación de la obesidad abdominal, sobre todo en estudios de seguimiento; también propone el uso del ICE como un indicador eficiente para el diagnóstico de obesidad abdominal en niños y adolescentes.

El segundo artículo se titula “Obesity in Mexican children and adolescents: association to pubertal alterations and muscular strength”, un artículo original en el que se plasma el análisis de los objetivos específicos 4 y 5 y que permite responder a las hipótesis planteadas mediante un análisis de regresión lineal múltiple. Para la primera hipótesis se determinó que la obesidad abdominal evaluada mediante la CC de niños y adolescentes de las escuelas y secundarias de Hermosillo, Sonora, México, se asoció con una edad a la velocidad pico de crecimiento (aPHV) temprana (β = 0.006, p = 0.010); también, que en niños con obesidad, el nivel socioeconómico puede ser un factor de riesgo que contribuye a una aPHV temprana (β [x MXN 1,000] = 0.023, p = 0.017). Por otro lado, la CC no se asoció con la diferencia en la talla en 6 meses, que explica la velocidad de la maduración biológica (β = -0.012, p = 0.146).

Con respecto a la segunda hipótesis, este estudio mostró que la CC y la aPHV temprana contribuyen a un mejor desempeño de la fuerza prensil, aun cuando se consideran el sexo, el nivel

socioeconómico y el nivel de actividad física (CC $\beta = 0.098$, $p = 0.005$; aPHV $\beta = 3.86$, $p < 0.001$). Por lo anterior, se concluye que el aumento en la obesidad abdominal puede alterar los patrones naturales de la maduración biológica, adelantando su aparición pero sin acelerar su proceso. La relación obesidad-maduración se asoció con un mejor desempeño de la fuerza prensil.

2. EFICIENCIA DE INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS Y DE COMPOSICIÓN CORPORAL EN EL DIAGNÓSTICO DE OBESIDAD ABDOMINAL INFANTIL.

Autores:

Luis F. Talavera-Hernandez[1*], Rosa Olivia Méndez Estrada[2], Alma Delia Contreras Paniagua[1], David Jiménez Pavón[3, 4, 5], Graciela Caire Juvera[1], María Isabel Ortega Velez[1]

1. Departamento de Nutrición Pública y Salud. Investigación en Alimentación y Desarrollo (C.I.A.D., A.C.). (www.ciad.mx). Hermosillo. Mexico

2. Departamento de Nutrición y Metabolismo. Investigación en Alimentación y Desarrollo (C.I.A.D., A.C.). (www.ciad.mx). Hermosillo. Mexico

3. Grupo de investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Educación, Universidad de Cádiz, Cádiz, España

4. Investigación Biomédica e Instituto de Innovación de Cádiz (INiBICA) Unidad de Investigación, Puerta del Mar, Hospital Universitario, Universidad de Cádiz, España

5. CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable (CIBERFES), Madrid, España.

* Autor de correspondencia, email: luis.talaveradc18@estudiantes.ciad.mx, teléfono: +526142221375, Dirección: Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, #46 Col. La Victoria CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México

Fecha de publicación: 6 de Enero de 2023

Revista: Revista de Salud Pública y Nutrición (RESPYN)

DOI: https://doi.org/10.29105/respyn22.1-710

Agradecimientos: Gloria Elena Portillo Abril, Marian Paredes, Dayra Zarate y Kennia Chaparro.

RESPYN
Revista Salud Pública y Nutrición

Artículo Original

EFICIENCIA DE INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS Y DE COMPOSICIÓN CORPORAL EN EL DIAGNÓSTICO DE OBESIDAD ABDOMINAL INFANTIL.

EFFICIENCY OF ANTHROPOMETRIC INDICATORS IN DIAGNOSIS OF CHILDREN ABDOMINAL OBESITY.

Talavera-Hernandez Luis Felipe [1], Méndez-Estrada Rosa Olivia [2], Contreras-Paniagua Alma Delia[1], Jiménez Pavón David [3,4,5], Caire-Juvera Graciela [1], Ortega-Velez María Isabel [1].

1 C.I.A.D., A.C., Departamento de Nutrición Pública y Salud. Investigación en Alimentación y Desarrollo Hermosillo. México. 2 1 C.I.A.D., A.C., 2. Departamento de Nutrición y Metabolismo. Investigación en Alimentación y Desarrollo Hermosillo. México 3 Universidad de Cádiz, Facultad de Educación, España. 4 Universidad de Cádiz, Hospital Universitario, España. 5 CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable (CIBERFES), España.

RESUMEN

Introducción: Caracterizada por un exceso del tejido adiposo visceral (TAV), la obesidad abdominal incrementa el riesgo del síndrome metabólico. El método más popular para evaluar la obesidad infantil es el índice de masa corporal para la edad (IMC), aunque estudios recientes sugieren la circunferencia de cintura (CC) o el índice cintura-estatura (ICE). **Objetivo:** Evaluar la eficiencia de indicadores antropométricos para predecir TAV y clasificar sobrepeso más obesidad (SO/OB). **Material y Método:** Estudio transversal, analítico y comparativo. Se evaluaron 59 niños (47.5% mujeres) de 10.6 ± 2.1 años de edad en escuelas públicas de Hermosillo, Sonora, México; se examinaron variables antropométricas, estimando el IMC e ICE, se determinó el TAV mediante Absorciometría Dual de Rayos X (DEXA); se analizó mediante: regresión lineal múltiple, concordancia con el modelo de Bland y Altman e índice Kappa de Cohen. **Resultados:** El modelo más eficiente para predecir TAV fue el de la CC (R^2=0.90). Los indicadores antropométricos tuvieron buena concordancia entre sí en el diagnóstico de SO/OB (Kappa ≥ 0.6), aunque el análisis de Bland y Altman indicó buena concordancia entre CC-TAV e ICE-TAV. **Conclusiones:** Los mejores predictores del TAV fueron CC e ICE. Los resultados sugieren que CC e ICE resultan los mejores indicadores para evaluar obesidad abdominal y diagnosticar SO/OB en niños y adolescentes mexicanos.

Palabras Clave: Obesidad abdominal infantil, indicadores antropométricos, Absorciometría Dual de Rayos X.

ABSTRACT

Introduction: Abdominal obesity, determined by excess in Visceral Adipose Tissue (VAT), increases the risk of metabolic syndrome. The most common method to evaluate childhood obesity is body mass index (BMI), but recently studies also suggest the use of waist circumference (WC) and waist to height ratio (WHR). **Objective:** Evaluate the efficiency of anthropometric indicators in VAT prediction and classify overweight-obesity (OW/OB). **Material and method:** Cross-sectional, analytical and comparative study. 59 children (47.5% girls) of 10.6 ± 2.1 years of age in public schools of Hermosillo, Sonora, Mexico were evaluated; anthropometric variables were examined, estimating BMI and WHR, VAT was determined by Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA); multiple linear regression, Bland Altman's concordance and Cohen's Kappa index were analysed. **Results:** The most efficient model to predict VAT was the WC (R^2=0.90). The anthropometric indicators reported good concordance with each other in the diagnosis of OW/OB (Kappa ≥ 0.6), although the Bland Altman analysis only reported good agreement between WC-TAV and WHR-TAV. **Conclusions**: WC and WHR were better predictors of VAT. Results suggest that WC and WHR can be used to assess abdominal obesity and diagnose OW/OB in Mexican children.

Key words: Children abdominal obesity, anthropometric indicators, Dual Energy X-ray Absorciometry.

Correspondencia: Luis Felipe Talavera-Hernandez luis.talaveradc18@estudiantes.ciad.mx

Recibido: 05 de octubre 2022, aceptado: 12 de diciembre 2022

©Autor2023

Citation: Talavera-Hernandez L.F., Méndez-Estrada R.O., Contreras-Paniagua A.D., Jiménez Pavón D., Caire-Juvera G., Ortega-Velez M.I. (2023) Eficiencia de indicadores antropométricos en el diagnóstico de obesidad abdominal infantil. *Revista Salud Pública y Nutrición, 22* (1), 1-10. https://doi.org/10.29105/respyn22.1-710

Significancia
Este artículo contribuye con evidencia regional sobre la eficiencia del uso de indicadores antropométricos de fácil uso, en la clínica y en la comunidad, para el diagnóstico e interpretación de la obesidad abdominal en niños y adolescentes

Introducción
La obesidad continúa en aumento alrededor del mundo (Haththotuwa et al., 2020), afectando a su paso a niños y adolescentes. Al respecto estudios indican una relación entre la obesidad y el aumento del riesgo para desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles, características del síndrome metabólico en la edad adulta (Faienza et al., 2020; Noubiap et al., 2022). En este contexto, México ocupa el primer lugar en obesidad infantil a nivel mundial (UNICEF, 2022) y en 2020 la encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT) reportó una prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad de 38.2% en niños en edad escolar de 5 a 11 años y 43.8% en adolescentes de 12 a 19 años; con ello se observó un incremento de 2.7% y 5.4% respectivamente con relación a la prevalencia reportada en 2018, antes de la emergencia epidemiológica por COVID-19 (ENSANUT, 2019; Shamah-Levy et al., 2021).

En los esfuerzos por frenar este incremento, es indispensable una adecuada evaluación y seguimiento de indicadores que permitan identificar la efectividad de los programas de prevención y tratamiento de la obesidad infantil. Durante décadas, el índice de masa corporal (IMC) se ha reportado como el indicador más utilizado para medir la obesidad infantil (Bristol (Reino Unido): Development Initiatives., 2021). A pesar de ello, presenta limitaciones para la evaluación de adiposidad, uno de los principales factores de riesgo en el desarrollo de diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares en niños y adolescentes (Aristazábal et al., 2019; Després & Lemieux, 2006; Ross et al., 2020). En la actualidad, otros indicadores como la circunferencia de cintura (CC), el índice cintura-cadera, el índice cintura-estatura (ICE), la circunferencia de cuello y el pliegue sub mandibular se utilizan alrededor del mundo para estimar la obesidad central/abdominal (Kelishadi et al., 2015; Ruiz De Eguilaz et al., 2010; Valle-Leal et al., 2016). Destacan por su practicidad, la CC y el ICE, que según un estudio realizado en niños mexicanos, es el indicador con mayor sensibilidad en el diagnóstico del riesgo metabólico (Valle-Leal et al., 2016). Se reconoce además, el efecto de la etnicidad y otros indicadores socioeconómicos en la sensibilidad de los distintos métodos (Ross et al., 2020).

Entre los factores limitantes reportados en el uso de la CC en la práctica clínica y estudios epidemiológicos, se encuentra la falta de puntos de corte para la clasificación de los grados de obesidad en el estudio del riesgo frente a enfermedades relativas al síndrome metabólico, no obstante, son varios los estudios que recientemente sustentan el uso del percentil 90 para el diagnóstico de sobrepeso más obesidad (Ross et al., 2020; Xi et al., 2020); otro problema surge en el sitio de medición, ya que no existe un consenso internacional y esto dificulta la comparación entre distintas investigaciones (Ostchega et al., 2019); algo similar sucede con los puntos de corte para el diagnóstico de obesidad infantil con el indicador ICE (Tutunchi et al., 2020); por otra parte los estudios de CC e ICE acerca del nivel de confiabilidad y concordancia son limitados en poblaciones infantiles (Ross et al., 2020; Shaw et al., 2007).

El objetivo de este estudio fue analizar la capacidad predictiva y la concordancia de indicadores como el IMC, CC e ICE para evaluar el tejido adiposo visceral (TAV), así como en el diagnóstico de sobrepeso más obesidad.

Material y Método
2.1. Muestra
Se realizó un estudio de corte transversal, analítico y comparativo en la ciudad de Hermosillo, Sonora (Noroeste de México), en un grupo de 59 niños y adolescentes con una edad promedio de 10.6 ± 2.1 años. El reclutamiento y evaluación sucedieron en el periodo entre noviembre 2018 y febrero 2019. Se seleccionaron 3 escuelas primarias y 3 escuelas secundarias de manera no probabilística intencional, correspondientes a zonas en donde los hogares se caracterizan por un nivel de marginación medio o alto; la selección se realizó mediante las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y la clasificación de los niveles de marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO) (CONAPO, 2018; INEGI, 2013, 2018).

Un total de 65 participantes firmaron las cartas de consentimiento informado de un total de 650 invitaciones distribuidas; se excluyeron 6 participantes debido a que cumplieron con uno o más de los siguientes criterios de exclusión: recibir medicación hormonal, sufrir de alguna enfermedad metabólica, tener movilidad limitada, algún metal incrustado en el cuerpo o estar embarazada (adolescentes mujeres que hayan tenido su menarquia). Como resultado, 29 niños de escuela primaria (edad promedio de 8.5 ± 0.4 años, 65.5% niñas) y 30 adolescentes (edad promedio de 12.6 ± 0.4 años, 30% niñas) participaron en el estudio. El comité de ética del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD) aprobó el protocolo de investigación (Número de referencia CE/016/2018).

2.2 Antropometría

Las siguientes medidas se realizaron siguiendo el protocolo de la Sociedad Internacional de Avances en Cineantropometría (ISAK) (Stewart et al., 2011): peso (P), estatura (E) y circunferencia de cintura (CC). Todas las medidas se tomaron por duplicado y sin zapatos ni ropa extra como suéter. El error de la medición entre ambas medidas fue < 2%. Los instrumentos incluyeron una balanza con 10 g de sensibilidad, un estadiómetro portátil Seca 213 y una cinta metálica flexible Lukfin. La CC se midió considerando el punto medio entre la cresta iliaca del individuo y su última costilla (Stewart et al., 2011). Para estimar el Índice de Masa Corporal para la edad (IMC) se utilizó el programa de la Organización Mundial de la Salud (OMS) AntrhoPlus en su versión 1.0.4 (Blössner et al., 2009). También se estimó el Índice de Cintura/Estatura (ICE) dividiendo la CC entre la E.

Un antropometrista certificado en el nivel 2 del protocolo ISAK condujo las evaluaciones.

2.3. Absorciometría dual de rayos X (DEXA)

Los participantes se trasladaron en vehículos oficiales desde la escuela a las instalaciones del laboratorio de densitometría del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., acompañados de padres y maestros tutores. Los niños y adolescentes asistieron con al menos doce horas de ayuno y con la vejiga vacía; se solicitó a los participantes que el día previo a la evaluación no realizaran ejercicio físico intenso y que consumieran entre 6 y 8 vasos de agua. A las niñas que reportaron haber iniciado su ciclo menstrual se les realizó una prueba de embarazo en orina previo a la evaluación, con el respectivo consentimiento de la niña y del padre o tutor; miembros del equipo de investigación del sexo femenino explicaron a las niñas el procedimiento para colectar la muestra de orina, y su posterior análisis, para lo que se utilizaron tiras reactivas Spinreact modelo FHC-201 por duplicado para prevenir falsos positivos. Se designó un espacio privado para que los participantes se despojaran de todos los elementos metálicos, de la ropa y calzado y se les proporcionó una bata de uso en recintos clínicos.

Una vez calibrado el equipo se procedió a colocar a los participantes sobre el DEXA según las especificaciones del fabricante y se realizó la evaluación. En un análisis post evaluación se definió la región para el tejido adiposo visceral (TAV) en el programa Hologic Discovery DEXA usando la metodología descrita por Bredella et al. (2013). El software del DEXA localiza automáticamente los límites internos y externos de ambos lados de la pared abdominal; esta región comprende una línea de 5 cm a través del abdomen a la altura de las vértebras L4/L5, con una línea inferior situada sobre 1 cm del borde de la cresta iliaca. Para que el programa pueda estimar el TAV, se mide toda la masa de esta región y se resta el área definida como tejido subcutáneo (Bredella et al., 2013; Goldberg & Fung, 2020). Para algunos casos fue necesario que un analista corrigiera las líneas de marcación generadas automáticamente para tener mayor precisión y certeza en la evaluación.

2.4. Análisis estadístico

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (DE). Se evaluó la diferencia entre las variables continuas mediante la prueba t de Student y se usó la prueba de χ^2 para el análisis de proporciones. La estratificación de la muestra en normo peso (NP) y sobrepeso + obesidad (SO/OB) siguió los puntos de corte establecidos para cada indicador: para IMC se consideró SO/OB cuando el valor z ≥ +1 (Onis et al., 2007); para CC se asumió SO/OB cuando la medición superaba el percentil 90, de acuerdo a los puntos de corte internacionales (Xi et al., 2020); y finalmente se definió SO/OB cuando el ICE ≥ 0.5 (Valle-Leal et al., 2016).

Para analizar la capacidad predictiva en la evaluación del tejido adiposo visceral (TAV) mediante los indicadores IMC, CC e ICE, se utilizaron los coeficientes de la regresión lineal múltiple por pasos hacia atrás. Para lo anterior se crearon modelos independientes en dónde cada indicador antropométrico se ajustó por posibles variables confusoras; la variable respuesta usada para este análisis fue el TAV medido mediante DEXA. Se consideraron posibles variables confusoras aquellas con plausibilidad biológica y significancia estadística para posteriormente incluirse en los modelos, tales como edad, sexo, masa muscular y densidad mineral ósea.

Para evaluar la eficiencia de los indicadores antropométricos en la estimación de obesidad abdominal, se analizó la concordancia entre IMC, CC e ICE, y el TAV usando el método Bland y Altman. Para ello se reportó el promedio de las diferencias de las medidas estandarizadas, así como su desviación estándar. La diferencia entre las medias representa la concordancia entre los métodos, mientras que la desviación estándar representa la variación entre los mismos (Shaw et al., 2007).

Finalmente, se utilizó el índice Kappa del test de Cohen para analizar la concordancia en el diagnóstico de obesidad abdominal de los diferentes métodos antropométricos, usando como referencia el método tradicional para el diagnóstico de obesidad en general (IMC) en comparación con indicadores más localizados (CC e ICE). Para el análisis se considera que el valor máximo para el índice Kappa es igual a 1, indicando concordancia total, mientras que el valor mínimo puede ser negativo; se considera un valor excelente cuando es superior a 0.8, bueno por encima de 0.6, aceptable si es mayor a 0.4 e inadecuado si el índice Kappa es reportado por debajo de éste punto (Martınez-González et al., 2006).

Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 18 para todos los análisis estadísticos, considerando como diferencias estadísticamente significativas valores de $p \leq 0.05$.

Resultados

La Tabla 1 presenta las características generales de la población. Se evaluaron 59 niños y adolescentes con una edad promedio de 10.6 ± 2.1 años, 47.5% de los cuales fueron mujeres. Los hombres presentaron mayor edad y consecuentemente mayor estatura que las mujeres ($p \leq 0.05$), sin embargo, no se observaron diferencias significativas por sexo en cuanto a la media del peso y circunferencia de cintura ($p > 0.05$).

Tabla 1. Características generales de la población de estudio y las diferencias según el sexo

	Total N=59		Mujeres n=28		Hombres n=31	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Edad*	10.6	2.1	9.8	2	11.3	1.9
Peso	41.7	16	37.8	14.4	45.2	16.8
Talla*	141.5	14.3	137.5	14.4	145.1	13.4
CC	69.3	13.1	66	11	72.3	14.3

Fuente: Elaboración propia

CC= Circunferencia de cintura

* = Diferencia significativa en la prueba de t para muestras independientes $p \leq 0.05$

La muestra total de niños y adolescentes se clasificó de acuerdo con sus características físicas en normo peso (NP) y sobrepeso más obesidad (SO/OB) aplicando diferentes métodos; los resultados se muestran en la Tabla 2. La prevalencia de SO/OB fue mayor cuando se usó el IMC y menor cuando se usaron los puntos de corte internacionales de la CC al percentil 90 (42.4 y 27.1% respectivamente). La prueba de $\chi 2$ indicó diferencias entre todas las proporciones. El mismo patrón se observó en hombres y mujeres.

Tabla 2. Prevalencia de normo peso y sobrepeso + obesidad de acuerdo con diferentes indicadores.

	Total N=59			Mujeres n=28			Hombres n=31		
	IMC (%)	CC (%)	ICE (%)	IMC (%)	CC (%)	ICE (%)	IMC (%)	CC (%)	ICE (%)
NP	57.6[a, b]	72.9[a, c]	62.7[b, c]	64.3	75	71.4	51.6	71	54.8
SO/OB	42.4[a, b]	27.1[a, c]	37.3[b, c]	35.7	25	28.6	48.4	29	45.2

IMC= Índice de masa corporal para la edad, punto de corte cuando el valor z ≥ +1.

CC= Circunferencia de cintura, punto de corte en el percentil 90 de acuerdo a Xi et al. (2020).

ICE= Índice de cintura-estatura, punto de corte ≥ 0.5.

NP= Normo peso

SO/OB= Sobrepeso + obesidad

a= Diferencias significativas en la prueba χ^2 entre IMC y CC, $p \leq 0.05$.

b= Diferencias significativas en la prueba χ^2 entre IMC e ICE, $p \leq 0.05$.

c= Diferencias significativas en la prueba χ^2 entre CC e ICE, $p \leq 0.05$.

Para identificar que método era más eficiente en la predicción del TAV, en la Tabla 3 se reporta el coeficiente de determinación para cada método cuando el análisis se ajustó por sexo, edad, masa muscular y contenido mineral óseo; el método con menor sensibilidad en ésta población para la predicción del TAV fue el IMC con un R2 = 0.77,

mientras que la CC fue la de mayor sensibilidad, con un R2 = 0.90.

Tabla 3. Coeficiente de determinación (R^2) de indicadores antropométricos para estimar el tejido adiposo visceral.

	β [a]	IC 95%		R^2 [b]
IMC (puntaje z)	70.0 *	57.26	82.7	0.77
CC (cm)	10.5 *	9.31	11.8	0.9
ICE (cm)	1540.8 *	1316.6	1765	0.86

Fuente: Elaboración propia
a = Tejido adiposo visceral (TAV) en gramos evaluado
CC= Circunferencia de cintura.
ICE= Índice de cintura-estatura.

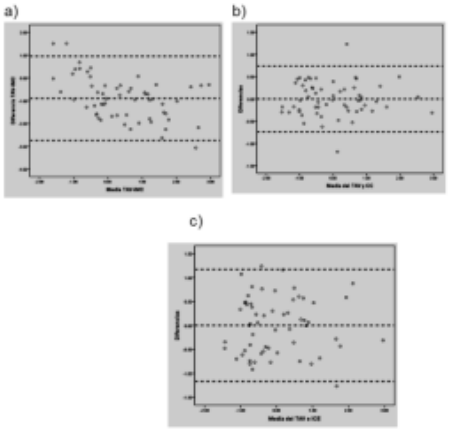
Adicionalmente, el análisis de concordancia usando el método de Bland y Altman (Tabla 4 y Figura 1), reportó, a través de la diferencia de las medias de los diferentes indicadores antropómetros respecto al TAV estimado mediante el DEXA, que el método IMC presenta en esta población un mayor sesgo, que tiende a la subestimación respecto al TAV (TAV-IMC = -0.895), a diferencia de los métodos CC e ICE, que además de reportar un mayor nivel de concordancia respecto al TAV (TAV-CC ≤ 0.001; TAV-ICE ≤ 0.001), mostraron un rango de variación menor respecto al método de referencia (DE = 0.38 y 0.60 respectivamente), con mejores resultados para la CC.

Tabla 4. Concordancia entre indicadores antropométricos y el TAV mediante el análisis Bland y Altman

	Media[a]	DE[b]
TAV-IMC	-0.895	0.94
TAV-CC	≤ 0.001	0.38
TAV-ICE	≤ 0.001	0.6

Fuente: Elaboración propia
TAV = Tejido adiposo visceral en gramos evaluado mediante Absorciometría Dual de Rayos-X (DEXA)
IMC= Índice de masa corporal para la edad.
CC= Circunferencia de cintura.
ICE= Índice de cintura-estatura
a= Media de la diferencia de las variables estandarizadas.
b= Desviación estándar de la diferencia de las variables

Figura 1. Gráficos de concordancia de Bland y Altman entre el tejido adiposo visceral evaluado mediante DEXA (TAV) y el índice de masa corporal (IMC) [a], circunferencia de cintura (CC) [b] e índice de cintura estatura (ICE) [c].



Finalmente, se realizó un análisis de concordancia para el diagnóstico de obesidad abdominal usando el índice Kappa de la prueba de Cohen, el cual se observa en la Tabla 5. El nivel de concordancia observado entre el método tradicional para el diagnóstico de obesidad general en niños y adolescentes (IMC), y los métodos localizados (CC e ICE), se categorizó como bueno, de acuerdo con el nivel de clasificación de concordancia de la prueba (Kappa ≥ 0.6). Un resultado similar (Kappa ≥ 0.6) se observa en la comparación entre los métodos CC e ICE.

Tabla 5. Concordancia en el diagnóstico de normo peso y

		CC			ICE		
		NP (%)	SO/OB (%)	Kappa	NP (%)	SO/OB (%)	Kappa
IMC	NP	57.6	-	0.67	52.5	5.1	0.683
	SO/OB	15.3	27.1		10.2	32.2	
ICE	NP	59.3	3.4	0.62			
	SO/OB	13.6	23.7				

IMC= Índice de masa corporal para la edad, punto de corte cuando el valor z ≥ +1.
CC= Circunferencia de cintura, punto de corte en el percentil 90.
ICE= Índice de cintura-estatura, punto de corte ≥ 0.5.
NP= Normo peso

Discusión

La CC fue el indicador antropométrico con mejor capacidad para predecir el TAV en este estudio, con un coeficiente de determinación mayor en comparación a los otros métodos, así como una mayor concordancia de acuerdo al método Bland y Altman; además se reportó un buen nivel de concordancia en el diagnóstico de obesidad según el índice de Kappa de Cohen cuando se comparó con el método tradicional (IMC) y otro método localizado (ICE). Por su parte el IMC fue el método con menor capacidad predictiva en relación al TAV en los niños y adolescentes sonorenses.

La prevalencia de SO/OB observada en este estudio es en general elevada (>29%) respecto a lo observado en otros contextos (Garrido-Miguel et al., 2019); lo anterior, independientemente del método empleado para definir SO/OB. En relación al IMC, la encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT) en México reportó en 2020 niveles similares de SO/OB (43%) a los observados en éste estudio (IMC SO/OB = 42%), aunque en 2019, cuando se evaluó a la población de este estudio, los valores eran casi 6% menores (ENSANUT, 2019; Shamah-Levy et al., 2021). Un patrón similar se observó en cuanto a la CC, en el estudio de identificación y prevención de los efectos sobre la salud inducidos por la dieta y el estilo de vida en niños (Identification and prevention of Dietary- and lifestyle- induced health EFfects In Children and infantS – IDEFICS) en 2014; en donde a niñas de la región europea con una media de 10.5 años que fueron evaluadas en CC en el punto medio entre la cresta iliaca y la última costilla presentaron una CC de 60.6 cm en su percentil 50 y 59.9 cm en niños, es decir, 9 cm inferiores a la media reportada en los participantes del presente estudio (Nagy et al., 2014).

Lo anterior no necesariamente coincide con otros estudios de la región norte de México, que en un rango de edad similar y usando la misma metodología que el presente estudio, reportan valores de CC promedio que van de los 60 a los 68 cm (Hall López et al., 2013; López-Alonzo et al., 2021; Serrano et al., 2021). La población de este estudio no es representativa de la población mexicana, ni de la región norte del país, y es probable que la alta variabilidad observada esté asociada a factores locales y regionales, enmarcando así la necesidad de generar referencias de CC regionales en nuestro país para el monitoreo de la obesidad abdominal infantil y no solo mediante el IMC, ya que actualmente las referencias de la región como la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) no reporta la CC como ya lo hacen otras encuestas nacionales (NHANES) (Fryar et al., 2021; Shamah-Levy et al., 2021). En éstos mismos estudios regionales se observa una inconsistencia en el uso de los puntos de corte para el diagnóstico de obesidad abdominal mediante CC; algunos usan el percentil 75 mientras que otros el percentil 90 (Hall López et al., 2013; Serrano et al., 2021). Esto dificulta la validación externa del diagnóstico de obesidad abdominal en población pediátrica, por lo que probablemente los puntos de corte internacionales no incluyen la región latinoamericana (Xi et al., 2020).

A pesar de los resultados en este estudio y otras investigaciones (Ross et al., 2020) que sugieren que la CC es una medida con un gran poder de predicción del TAV, la medición de la CC depende de factores técnicos que podrían limitar su uso por el riesgo de sesgo a diferencia del IMC, que solo requiere datos como peso corporal, estatura y edad. La técnica de medición de la CC requiere del manejo de la cinta antropométrica, una postura del sujeto determinada, así como la localización estandarizada del punto de medición (marca umbilical, cintura mínima, en el borde de la cresta y en el punto medio entre cresta y última costilla, entre otras variantes del método) (Higgins & Comuzzie, 2012; Stewart et al., 2011).

Por otro lado, la mayor parte de los factores de variación se pueden controlar mediante un adiestramiento adecuado del evaluador. En una revisión realizada por Kelishadi et al. (2015), que analizaron 61 estudios, los indicadores más utilizados para la evaluación del riesgo metabólico fueron la CC, ICE y el índice cintura cadera, concluyendo que siempre que se use la misma metodología en la población de estudio, cualquier método puede usarse eficientemente para monitorear los factores de riesgo cardio metabólico (Kelishadi et al., 2015). De manera particular, respecto al método de la CC, el centro nacional para la estadística en salud (NCHS) en Estados Unidos reportó en 2019 que distintos métodos, incluido el aprobado por la OMS y usado en este estudio, tienen una sensibilidad y especificidad superior al 90% respecto al método de la NHNES para diagnosticar obesidad abdominal en población adulta, con excepción de la medición en

mujeres que reportaron un 85% de sensibilidad. Así mismo, la mayoría de los métodos se mantuvieron dentro del rango de ± 1.5 cm de variación a lo largo de los diferentes grupos étnicos y de edad evaluados, con algunas excepciones, entre ellas las mujeres medidas con el método de la OMS que superaron en promedio 3.21 cm los resultados obtenidos por la NHNES ($p \leq 0.0125$), los autores concluyen que el nivel de variabilidad entre ambos métodos en el grupo de mujeres corresponde a las diferencias anatómicas de la cadera, un punto de referencia determinante en la medición de la CC. (Ostchega et al., 2019).

Por su parte, el ICE es menos utilizado para monitorear la efectividad de una intervención en obesidad infantil respecto a otros métodos como IMC y CC (Brown et al., 2019). No obstante, el índice de ICE ≥ a 0.5 ha demostrado ser un método con mayor nivel de sensibilidad respecto al IMC y CC cuando se asocia al riesgo del desarrollo del síndrome metabólico en niños mexicanos, particularmente diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares (López-González et al., 2016; Valle-Leal et al., 2016). Si bien ya existen puntos de corte internacionales para CC en el diagnóstico de SO/OB, favoreciendo su uso como método de seguimiento en estudios contra la obesidad infantil (Xi et al., 2020), el ICE podría resultar más práctico y fiable para el diagnóstico de obesidad infantil respecto al IMC y CC en contextos clínicos, así como en el desarrollo de estudios epidemiológicos. Los resultados de este estudio sustentan lo anterior, indicando un nivel de concordancia bueno (Kappa > 0.6) respecto al método tradicional (IMC) en el diagnóstico de obesidad infantil, además de no requerir de una tabla de referencia para estimar los puntos de corte, haciendo su interpretación más sencilla, rápida y con un buen nivel de fiabilidad.

Por otro lado, Shaw y colaboradores (2007) reportaron en adultos y adultos mayores un nivel de concordancia relativamente aceptable entre el IMC y el porcentaje de grasa corporal del tronco cuando se estimó mediante el DEXA. Es decir, el método de IMC en adultos y adultos mayores se encuentra al nivel de la CC para evaluar indirectamente el TAV (desviación estándar del IMC con valores entre 0.66 y 0.73 vs CC con valores entre 0.65 y 0.71), cuando la CC se midió en el punto medio entre la cresta iliaca y la última costilla (Shaw et al., 2007). Según lo observado en los niños y adolescentes de este estudio, el rango de sesgo entre ambos métodos respecto al TAV fue más evidente (desviación estándar del IMC = 0.94 vs CC = 0.38). En otros términos, la variabilidad entre el IMC y el TAV en esta población de estudio es relevante, lo que limita la fiabilidad del IMC como un método sensible en la evaluación del TAV. Esto se esperaba, al tratarse de un método diseñado para el diagnóstico de obesidad en general y no como una medida de composición corporal localizada. Por lo mismo, otros autores reportan una baja sensibilidad del IMC en la evaluación del seguimiento en programas de prevención y tratamiento de la obesidad (Vanderwall et al., 2018).

Conclusiones

A pesar de que el IMC, la CC y el ICE, mantienen un buen nivel de concordancia entre sí para el diagnóstico del SO/OB, debido a su practicidad, facilidad de uso, interpretación y mayor fiabilidad en la evaluación del TAV, se recomienda el uso prioritario de la CC en estudios poblacionales dirigidos a niños y adolescentes. Según los resultados del presente estudio, la CC mostró ser el mejor indicador antropométrico con un menor nivel de variabilidad respecto al TAV, coincidiendo también con otros estudios en poblaciones de mayor edad que han mostrado resultados similares. Además, la naturaleza de la unidad de medida de este método (cm) facilita la interpretación de los resultados, sobre todo en estudios longitudinales. Aunque existen diversas metodologías, se recomienda el uso de la misma técnica de evaluación intra e inter sujeto, principalmente en mujeres, que debido a su anatomía pueden presentar un mayor sesgo entre los diferentes métodos. Con el fin de extender el uso de este método en los programas de intervención, es pertinente incorporar estas medidas en las encuestas nacionales o generar referencias regionales a fin de homogenizar su uso en la población y tener un seguimiento más puntual de la obesidad infantil.

Adicionalmente, este estudio suma evidencia al ICE como un método de uso práctico y fiable en el diagnóstico de SO/OB, debido principalmente a su buena concordancia respecto al TAV, así como en el diagnóstico de SO/OB evaluado mediante el IMC, pero con la diferencia de no requerir tablas percentilares para su diagnóstico, una característica útil en el trabajo de campo. Sin embrago, al igual que

con la CC, las referencias regionales siguen siendo necesarias para extender su uso.

Agradecimiento y financiamiento
Agradecemos especialmente a Gloria Elena Portillo, María Paredes, Dayra Zarate y Kennia Chaparro por su apoyo durante el trabajo de campo.

Financiamiento por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD A.C.)

Bibliografía

Aristazábal, J.-C., Estrada-Restrepo, A., & Barona, J. (2019). Waist-to-height ratio may be an alternative tool to the body mass index for identifying Colombian adolescents with cardiometabolic risk factors. *Nutricion Hospitalaria*, *36*(1), 96–102. https://doi.org/https://doi.org/10.20960/nh.1909 Available

Blössner, M., Siyam, A., Borghi, E., Onyango, A., & De Onis, M. (2009). *WHO AnthroPlus for personal computers manual: software for assessing growth of the world's children and adolescents*. World Health Organization: Geneva, Switzerland.

Bredella, M. A., Gill, C. M., Keating, L. K., Torriani, M., Anderson, E. J., Punyanitya, M., Wilson, K. E., Kelly, T. L., & Miller, K. K. (2013). Assessment of abdominal fat compartments using DXA in premenopausal women from anorexia nervosa to morbid obesity. *Obesity*, *21*(12), 2458–2464. https://doi.org/10.1002/oby.20424

Bristol (Reino Unido): Development Initiatives. (2021). El estado de la nutrición en el mundo. In *Informe de la Nutrición Mundial 2021*. https://globalnutritionreport.org/reports/2021-global-nutrition-report/executive-summary/

Brown, T., Moore, T. H., Hooper, L., Gao, Y., Zayegh, A., Ijaz, S., Elwenspoek, M., Foxen, S. C., Magee, L., O'Malley, C., Waters, E., & Summerbell, C. D. (2019). Interventions for preventing obesity in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, *7*. https://doi.org/10.1002/14651858.CD001871.pub4

CONAPO. (2018). *Consejo Nacional de Población*. www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_%0AIndice_de_Marginacion

Després, J. P., & Lemieux, I. (2006). Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature*, *444*(7121), 881–887. https://doi.org/10.1038/nature05488

ENSANUT. (2019). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018*. https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf

Faienza, M. F., Chiarito, M., Molina-Molina, E., Shanmugam, H., Lammert, F., Krawczyk, M., D'Amato, G., & Portincasa, P. (2020). Childhood obesity, cardiovascular and liver health: a growing epidemic with age. *World Journal of Pediatrics*, *16*(5), 438–445. https://doi.org/10.1007/s12519-020-00341-9

Fryar, C. D., Kruszon-Moran, D., Gu, Q., Carroll, M., & Ogden, C. L. (2021). Mean body weight, height, waist circumference, and body mass index among children and adolescents: United states, 1999–2018. *National Health Statistics Reports*, *2021*(160), 1–23. https://doi.org/10.15620/cdc:107559

Garrido-Miguel, M., Cavero-Redondo, I., Álvarez-Bueno, C., Rodríguez-Artalejo, F., Moreno, L. A., Ruiz, J. R., Ahrens, W., & Martínez-Vizcaíno, V. (2019). Prevalence and Trends of Overweight and Obesity in European Children from 1999 to 2016: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *173*(10). https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.2430

Goldberg, E. K., & Fung, E. B. (2020). Precision of the hologic DXA in the assessment of visceral adipose tissue. *Journal of Clinical Densitometry*, *23*(4), 664–672.

Hall López, J. A., Ochoa Martínez, P. Y., Borbón Román, J. C., & Monreal Ortíz, L. R. (2013). Prevalencia de porcentaje de grasa corporal, obesidad abdominal y estado nutricial en una escuela primaria de Mexicali Baja California México. *International Journal of Morphology*, *31*(4), 1269–1275. https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000400020

Haththotuwa, R. N., Wijeyaratne, C. N., & Senarath, U. (2020). Worldwide epidemic of obesity. In T. A. Mahmood, S. Arulkumaran, & F. A. B. T.-O. and O. (Second E. Chervenak (Eds.), *Obesity and Obstetrics* (pp. 3–8). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817921-5.00001-1

Higgins, P. B., & Comuzzie, A. G. (2012). *Measures of Waist Circumference BT - Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease* (V. R. Preedy (ed.); pp. 881–891). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1_51

INEGI. (2013). *Censo de Escuelas, Maestros y Alumnos de Educación Básica y Especial*. https://www.inegi.org.mx/sistemas/mapa/atlas/

INEGI. (2018). *Mapa interactivo de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB)*. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=26

Kelishadi, R., Mirmoghtadaee, P., Najafi, H., & Keikha, M. (2015). Systematic review on the association of abdominal obesity in children and adolescents with cardio-metabolic risk factors. *Journal of Research in Medical Sciences*, *20*(3), 294–307.

López-Alonzo, S. J., Gastélum Cuadras, G., Islas Guerra, S. A., Chávez Erives, A. I., & Orona Escápite, A. (2021). Relación entre actividad física y obesidad en escolares de primaria del norte de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias de La Actividad Física y El Deporte*, *10*(1), 15–25. https://doi.org/10.24310/riccafd.2021.v10i1.10650

López-González, D., Miranda-Lora, A., Klünder-Klünder, M., Queipo-García, G., Bustos-Esquivel, M., Paez-Villa, M., Villanueva-Ortega, E., Chávez-Requena, I., Laresgoiti-Servitje, E., & Garibay-Nieto, N. (2016). Diagnostic Performance of Waist Circumference Measurements for Predicting Cardiometabolic Risk in Mexican Children. *Endocrine Practice* , *22*(10), 1170–1176. https://doi.org/10.4158/EP161291.OR

Martınez-González, M. A., Sánchez-Villegas, A., & Faulin, J. (2006). *Bioestadıstica amigable*. Editorial Dıaz de Santos, Madrid, Spain.

Nagy, P., Kovacs, E., Moreno, L. A., Veidebaum, T., Tornaritis, M., Kourides, Y., Siani, A., Lauria, F., Sioen, I., Claessens, M., Mårild, S., Lissner, L., Bammann, K., Intemann, T., Buck, C., Pigeot, I., Ahrens, W., & Molnár, D. (2014). Percentile reference values for anthropometric body composition indices in European children from the IDEFICS study. *International Journal of Obesity*, *38*, S15–S25. https://doi.org/10.1038/ijo.2014.131

Noubiap, J. J., Nansseu, J. R., Lontchi-Yimagou, E., Nkeck, J. R., Nyaga, U. F., Ngouo, A. T., Tounouga, D. N., Tianyi, F. L., Foka, A. J., Ndoadoumgue, A. L., & Bigna, J. J. (2022). Global, regional, and country estimates of metabolic syndrome burden in children and adolescents in 2020: a systematic review and modelling analysis. *The Lancet Child & Adolescent Health*, *6*(3), 158–170. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2352-4642(21)00374-6

Onis, M. de, Onyango, A. W., Borghi, E., Siyam, A., Nishida, C., & Siekmann, J. (2007). Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization*, *85*, 660–667.

Ostchega, Y., Seu, R., Sarafrazi, I. N., Zhang, G., Hughes, J., & Miller, I. (2019). Waist circumference measurement methodology study : National Health and Nutrition examination survey , 2016 data evaluation and methods research. *National Center for Health Statistics*, *2*(182), 1–20. https://lccn.loc.gov/2018054057

Ross, R., Neeland, I. J., Yamashita, S., Shai, I., Seidell, J., Magni, P., Santos, R. D., Arsenault, B., Cuevas, A., Hu, F. B., Griffin, B. A., Zambon, A., Barter, P., Fruchart, J. C., Eckel, R. H., Matsuzawa, Y., & Després, J. P. (2020). Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, *16*(3), 177–189. https://doi.org/10.1038/s41574-019-0310-7

Ruiz De Eguilaz, M. H., Martínez De Morentín, B., Pérez-Diez, S., Navas-Carretero, S., & Martínez, J. A. (2010). Estudio comparativo de medidas de composición corporal por absorciometría dual de rayos X, bioimpedancia y pliegues cutaneos en mujeres. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, *76*(2), 209–222.

Serrano, B. R., Ramírez-López, G., Barajas, M. A. A., & Hoyos, J. R. C. (2021). Socio-family variables associated with a higher risk of overweight and abdominal obesity in school children from a pediatric service at Colima, Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *71*(2), 104–113. https://doi.org/10.37527/2021.71.2.003

Shamah-Levy, T., Romero-Martínez, M., Barrientos-Gutiérrez, T., Cuevas-Nasu, L., Bautista-Arredondo, S., Colchero, M., Gaona-Pineda, E., Lazcano-Ponce, E., Martínez-Barnetche, J., Alpuche-Arana, C., & Rivera-Dommarco, J. (2021). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados nacionales* (Instituto Nacional de Salud Pública (ed.)).

Shaw, K. A., Srikanth, V. K., Fryer, J. L., Blizzard, L., Dwyer, T., & Venn, A. J. (2007). Dual energy X-ray absorptiometry body composition and aging in a population-based older cohort. *International Journal of Obesity*, *31*(2), 279–284. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803417

Stewart, A., Marfell-Jones, M., Olds, T., & Ridder, H. (2011). *Protocolo internacional para la valoración antropométrica ISAK* (ISAK (ed.); 2011th ed.).

Tutunchi, H., Ebrahimi-Mameghani, M., Ostadrahimi, A., & Asghari-Jafarabadi, M. (2020). What are the optimal cut-off points of anthropometric indices for prediction of overweight and obesity? Predictive validity of waist circumference, waist-to-hip and waist-to-height ratios. *Health Promotion Perspectives*, *10*(2), 142–147. https://doi.org/10.34172/hpp.2020.23

UNICEF. (2022). Salud y nutrición. *Salud y Nutrición*. https://www.unicef.org/mexico/salud-y-nutrición

Valle-Leal, J., Abundis-Castro, L., Hernández-Escareño, J., & Flores-Rubio, S. (2016). Índice Cintura-Estatura Como Indicador De Riesgo Metabólico En Niños. *Revista Chilena de Pediatria*, *87*(3), 180–185. https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.10.011

Vanderwall, C., Eickhoff, J., Randall Clark, R., & Carrel, A. L. (2018). BMI z-score in obese children is a poor predictor of adiposity changes over time. *BMC Pediatrics*, *18*(1), 1–6. https://doi.org/10.1186/s12887-018-1160-5

Xi, B., Zong, X., Kelishadi, R., Litwin, M., Hong, Y. M., Poh, B. K., Steffen, L. M., Galcheva, S. V., Herter-Aeberli, I., Nawarycz, T., Krzywińska-Wiewiorowska, M., Khadilkar, A., Schmidt, M. D., Neuhauser, H., Schienkiewitz, A., Kułaga, Z., Kim, H. S., Stawińska-Witoszyńska, B., Motlagh, M. E., … Bovet, P. (2020). International waist circumference percentile cutoffs for central obesity in children and adolescents aged 6 to 18 years. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *105*(4), E1569–E1583. https://doi.org/10.1210/clinem/dgz195

3. OBESITY IN MEXICAN CHILDREN AND ADOLESCENTS: ASSOCIATION TO PUBERTAL ALTERATIONS AND MUSCULAR STRENGTH.

Autores:

Luis F. Talavera-Hernandez[1], Rosa Olivia Méndez Estrada[2], Gloria Elena Portillo Abril[1], David Jiménez Pavón[3, 4, 5], Graciela Caire Juvera[1], María Isabel Ortega Velez[1*]

1. Departamento de Nutrición Pública y Salud. Investigación en Alimentación y Desarrollo (C.I.A.D., A.C.). (www.ciad.mx). Hermosillo. Mexico

2. Departamento de Nutrición y Metabolismo. Investigación en Alimentación y Desarrollo (C.I.A.D., A.C.). (www.ciad.mx). Hermosillo. Mexico

3. Grupo de investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Educación, Universidad de Cádiz, Cádiz, España

4. Investigación Biomédica e Instituto de Innovación de Cádiz (INiBICA) Unidad de Investigación, Puerta del Mar, Hospital Universitario, Universidad de Cádiz, España

5. CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable (CIBERFES), Madrid, España.

* Autor de correspondencia, email: iortega@ciad.mx, teléfono: +526622892400 Ext. 313, Dirección: Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, #46 Col. La Victoria CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México

Fecha de publicación: No publicado, enviado el 6 de Mayo de 2023

Revista: International Journal of Child Health & Nutrition

DOI: No disponible aún

Agradecimientos: Alma Delia Contreras Paniagua, Marian Paredes, Dayra Zarate, Kennia Chaparro, Paola Peralta y Enrique Carrasco.

Obesity in Mexican children and adolescents: association to pubertal alterations and muscular strength

Luis Felipe Talavera Hernández[a], Graciela Caire-Juvera[a], David Jiménez Pavón [b,c,d], Rosa Olivia Méndez Estrada[e], Gloria Elena Portillo Abril[a], and María Isabel Ortega Vélez[a*]

[a] Public Nutrition and Health Department, Nutrition Division, Research Centre for Food and Development, Hermosillo, Sonora, Mexico
[b] MOVE-IT Research Group and Department of Physical Education, Faculty of Education Sciences, University of Cádiz, Cádiz, Spain
[c] Biomedical Research and Innovation Institute of Cádiz (INiBICA) Research Unit, Puerta del Mar, University Hospital, University of Cádiz, Spain
[d] CIBER of Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), Madrid, Spain.
[e] Nutrition and Metabolism Department, Nutrition Division, Research Centre for Food and Development, Hermosillo, Sonora, Mexico
* Correspondence: Corresponding author, email: iortega@ciad.mx, phone: +52 6622892400 Ext. 313. Address: Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, #46 Col. La Victoria CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México

Abstract

Objectives. Interventional strategies do not always consider how obesity influences the process of pubertal maturation and its implications. Additionally, maturation status could play a vital role in performing specific physical capabilities. This study aims to analyze the association of obesity, pubertal timing and tempo, and muscular strength in children and adolescents from a developing country.

Methods. We measured height, weight, sitting height, estimated leg length, waist circumference (WC) and estimated the age at peak height velocity (APHV) of 125 children (58% girls, 8.9 ± 0.4 years) and 82 adolescents (45% girls, 12.8 ± 0.3 years) from public schools in northwest Mexico. We also collected data on physical activity, handgrip strength, socioeconomic and demographic information.

Results. Waist circumference (WC) was associated with early APHV ($\beta = 0.006$, $p = 0.010$), but not with a faster height gain ($\beta = -0.012$, $p = 0.146$). Earlier APHV and higher WC were both associated with higher handgrip strength ($\beta = 3.86$, $p < 0.001$; $\beta = 0.098$, $p = 0.005$, respectively).

Conclusions. Results suggest that higher WC was related to pubertal maturation patterns and results in better muscular strength performance. This data could improve the design and implementation of interventional strategies and public policies aimed to decrease childhood obesity.

Keywords: Childhood obesity; pubertal timing; pubertal tempo; handgrip performance; muscular strength; obesity-fitness stigma.

1. Introduction

Pubertal physical maturation is a process through which children turn into adulthood and involves changes related to sexual maturation mediated by hormonal, environmental and genetic factors [1]. It is a critical stage of life where efforts must focus on children´s healthy habits, since metabolic conditions related to body composition, nutritional habits and physical activity could have a deep impact in their health and performance [2–4].

Statistics show a worldwide increase in children obesity [5]; this has consequences on physical maturation since adiposity excess induces higher leptin levels, stimulating the alteration of pubertal processes [6,7]. Studies suggest that children with obesity manifest the onset of puberty earlier (timing) and probably faster (tempo) than children without obesity [8–11]. This is especially common in girls [11].

Other factors such as those related to family socioeconomic condition could have an impact in the path of pubertal physical maturation process. A meta-analysis reported that the impact of obesity on physical maturation patterns are similar in high- (HICs), low-, and middle-income countries (LMICs)[12]. However, research from countries such as Mexico are scarce, even when the United Nations Children's Fund (UNICEF) reported that Mexican children show higher rates of Ow/Ob [13]. Some of the data available came from indigenous populations [14], or from studies representing the population of central and southern Mexico [15], where eating habits and socioeconomic characteristics differ from the population from northern Mexico [16,17]. According to The National Survey on Health and Nutrition (ENSANUT), prevalence of overweight and obesity in elementary school-age Mexican children (aged 5–11 years old) and adolescents (12–19) were 38.2% and 43.8% in 2020. Meanwhile, in the North-Pacific region of the country figures were 40% and 52.6%, respectively [16].

On the other hand, chronological age defines categories of participation in sports, so the time of physical maturation relative to biological age offers opportunities to develop specific physical skills [18,19]. Furthermore, knowing physical maturation time (pubertal timing) during childhood, allows better chances to develop competitive levels in sports [20]. Experts deem the factor called age at peak height velocity (aPHV) as a critical measure of physical maturation. In addition, they suggest better development in muscular strength in children who reach aPHV at an earlier age [18,19].

The aim of this study was to analyze how obesity in children from North-Pacific region of Mexico influences physical maturation (Timing and Tempo), and furthermore, how this process shapes physical aptitudes such as muscular strength.

2. Materials & methods

2.1. Sample

Data presented herein was collected in two occasions from March to December 2019, with an interval of 6 months between each data collection. Three public elementary and three middle schools were selected by non-probabilistic sampling in Hermosillo, Sonora, located in the North-Pacific region of the country. Schools were located in urban

communities with high-to-medium marginalization level and were selected using datasets from the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), and the marginalization index by The National Population Council (CONAPO) [21–23].

Parents signed 255 children informed consent letters out of 650 invitations. Forty-eight participants were excluded because they reported receiving hormonal medication, suffering from a metabolic disease, participating in a health education program, unable to practice physical activity, or receiving specific nutritional plans by a health professional or formal instruction at a sports academy. Sample resulted in 207 participants who completed the study: 125 elementary school children (58% girls, mean age 8.9 ± 0.36 years) and 82 adolescents (45% girls, mean age 12.8 ± 0.32 years). The institutional Ethics Committee at Research Center for Food and Development (CIAD, AC), approved the research protocol (reference number CE/016/2018).

2.2. Anthropometry

Anthropometric measurements were taken following the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) protocol for weight (W), height (H), sitting height, estimated leg length, and waist circumference (WC) [24]. All measurements were taken in duplicate from children without shoes or extra clothing, such as sweaters. Measurement error was < 2 %. Instruments included a scale within 10 g of sensitivity, a Seca 213 portable stadiometer, a Lufkin metal measuring tape, and a 20 × 30 × 40 cm anthropometric bench. WC was measured at the mid-point between the participants iliac crest and last rib [24]. The World Health Organization (WHO) AnthroPlus program version 1.0.4 was used to calculate body mass index (BMI) [25]; overweight and obesity (Ow/Ob) was considered when the z value ≥ +1 [26]. To estimate the progression of abdominal obesity across time we used the difference of WC during six months represented as delta values (ΔWC).

An ISAK Level 2 certified anthropometrist conducted evaluations in each school in an adequate private space.

2.3. Physical Maturation

We estimated physical maturity status (timing) by age at peak height velocity (aPHV) calculated using Mirwald et al.'s (2002) equation for boys and girls [27], as follows:

Maturity offset in boys = -9.236 + 0.0002708; (leg length x sitting height) - [1] 0.001663; (age x leg length) + 0.007216; (age x sitting height) + 0.02292; weight-to-height ratio.

Maturity offset in girls = [1] - 9.376 + 0.0001882; (leg length x sitting height) + 0.0022; (age x leg length) + 0.005841; (age x sitting height) - 0.002658; (age x weight) + 0.07693; weight-to-height ratio.

The equation estimates the difference in time, expressed in years, of aPHV; negative numbers precede the event, and positive numbers mean that children will have reached physical maturation. We also segmented the results at the 25th and 75th percentiles to identify participants that could have early or late physical maturation, respectively.

To evaluate physical maturation speed (tempo), we used the difference in height between the first and second measurement and expressed tempo by delta height (Δheight).

2.4. Physical activity and muscular strength

Physical activity (PA) has been related to physical maturation and sedentary behavior, but the relationship is complex [28]. PA was evaluated with the PAQ-C questionnaire [29] and adapted to the language and regionalisms of Sonora, Mexico. The PAQ-C instrument estimates the participant´s level of PA in the preceding week and classifies it on a scale of 1 to 5, where the highest intensity level equals 5. Following the protocol, we averaged each item in the questionnaire to get the final score.

Muscular strength was assessed by the handgrip test according to the Assessing Levels of Physical Activity and Fitness (ALPHA) health-related fitness test battery for children and adolescents, using a Takei handgrip dynamometer and adjusting the optimal grip span for each participant [30]. Evaluators measured both arms; the highest muscle strength registered was used and expressed in kilograms.

2.5 Family Income

Family income was registered as a proxy of the specific living context of each family, using the questionnaire of the Mexican Association of Market Intelligence and Opinion (AMAI, 2018) [31] and a socioeconomic index based on the national survey of household income and expenses (ENIGH) [17]. We also recorded the family average monthly income.

2.6. Statistical analyses

Descriptive statistics were expressed as mean ± standard deviation (SD). We assessed differences between continuous variables using an independent Student *t*-test and explored association of variables using linear regression.

The first stage of analysis included two multiple linear regression models to evaluate [1] the association of obesity indicators with aPHV (to assess pubertal timing) and [2] ΔHeight (to assess pubertal tempo); WC and BMI were the exposure variables while aPHV and ΔHeight were the response variables. A second stage of analysis included a multiple linear regression model that examined the association of obesity indicators, aPHV, and ΔHeight to handgrip strength; in this case, handgrip strength was the response variable.

We used STATA statistical program version 11 for all data analyses, with significances at $p \leq 0.05$.

3. Results

Sample included 207 children and adolescents from elementary and middle schools in Hermosillo, Sonora, measured at 0 and 6 months during 2019. At the beginning of the study, the average age was 10.4 ± 1.9 years old, with a range of 7.5–13.5 years. Prevalence of overweight and obesity was 8.2% for girls and 24.7% for boys.

Table 1 shows general characteristics of elementary school-age children and adolescents. Elementary school boys presented higher levels of obesity than girls (WC girls = 60.7, WC boys = 68.4 cm, $p < 0.001$; BMI girls = 0.4, BMI boys = 1.5, z-scores, $p < 0.001$). Significant differences by sex regarding age and PA were not found in this age group. Among adolescents, girls reported a lower level of PA ($p = 0.042$).

Table 2 shows variables related to pubertal timing and tempo. All participants were under their aPHV at point of evaluation, though elementary school and adolescent girls were closer (1.2 and 1.1 years respectively) to reach the aPHV than boys ($p < 0.001$). No girls <10 years old presented their menarche at the evaluation time, while slightly more than half of girls in the adolescent group had reached menarche at the study time (57%). Regarding pubertal tempo, characterized by differences in height in a six month period, rate of change was almost the same for elementary school boys and girls, but for adolescents boys there was a 3.7 cm increase and 1.9 cm for girls in the same period ($p < 0.001$).

Table 1. Socioeconomic, demographic, and general description of the study sample by school age and sex.

	Total sample			Elementary school children							Adolescents						
				Girls			Boys			p †	Girls			Boys			p †
Variables	**N**	**Mean**	**(SD)**	**N**	**Mean**	**(SD)**	**n**	**Mean**	**(SD)**	***(t-test)***	**n**	**Mean**	**(SD)**	**n**	**Mean**	**(SD)**	***(t-test)***
Age (years)	207	10.4	(1.9)	73	8.9	(0.3)	52	8.9	(0.4)	0.689	37	12.8	(0.3)	45	12.8	(0.3)	0.691
Waist circumference (cm)	207	67.3	(10.6)	73	60.7	(7.8)	52	68.4	(10.0)	<0.001**	37	71.5	(9.4)	45	71.8	(11.0)	0.951
BMI (z-score)	207	0.8	(1.3)	73	0.4	(1.1)	52	1.5	(1.4)	<0.001**	37	0.5	(1.1)	45	0.6	(1.4)	0.857
Physical activity (score)	205	2.7	(0.7)	72	2.8	(0.6)	51	2.9	(0.6)	0.356	37	2.3	(0.7)	45	2.6	(0.7)	0.042*
AMAI index score average [level]	165	136.5 [C]	(36.6)	59	127.4[C-]	(34.9)	42	137.7[C]	(31.4)	0.128	28	134.9[C-]	(36.4)	36	151.1[C]	(41.4)	0.108
Family monthly income [x MXN 1,000]	148	7.9	(4.7)	54	7.2	(4.1)	37	7.8	(4.7)	0.550	25	8.6	(4.2)	32	8.8	(5.7)	0.851

aPHV = age at peak height velocity; BMI = body mass index; AMAI = a questionnaire to asses family socioeconomic level, which is additionally sorted from the highest (socioeconomic category) [A/B] to the lowest [E] level; SD = standard deviation.
Physical activity (score) = scores correspond to the average value of responses on the PAQ-C questionnaire, which orders the level of PA from least to most on a 5-point scale.
AMAI index score = total number of points obtained on the AMAI test. [level] = classifies from the level [A–B] to the [E], where the E is the maximum level of poverty.
† = p-value of the t-student test; * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$.

Table 2. Variables related to pubertal timing and tempo.

	Total sample			Elementary school children							Adolescents						
				Girls			Boys		p †		Girls			Boys			p †
Variables	**N**	**Mean**	**(SD)**	**N**	**Mean**	**(SD)**	**n**	**Mean**	**(SD)**	***(t-test)***	**n**	**Mean**	**(SD)**	**n**	**Mean**	**(SD)**	***(t-test)***
aPHV (years)	207	-2.8	(1.3)	73	3.5	(0.2)	52	4.3	(0.4)	<0.001**	37	0.8	(0.4)	45	1.9	(0.5)	<0.001**
Age at menarche (years, for adolescent girls)	21	11.9	(0.8)		N/A	N/A		N/A	N/A		21	11.9	(0.8)		N/A	N/A	
Δheight (cm)	203	2.66	(1.21)	71	2.47	(1.0)	45	2.24	(0.05)	0.168	34	1.9	(1.1)	53	3.7	(1.2)	<0.001**

aPHV = age at peak height velocity; Δheight = difference of height in six months; SD = standard deviation.
† = p-value of the t-student test; * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$.

Concerning the association of aPHV to WC and BMI in the total sample, univariate analysis indicated that WC is related to APHV (p < 0.001, 95% CI = 0.020 to 0.053). Table 3 shows results of a multilinear model, where each extra centimeter of WC was associated with an increase of 0.006 years in early appearance of APHV (p = 0.010, CI = 0.002 to 0.011) when adjusting by age and sex. A BMI model also described this association (p = 0.010, CI = 0.011 to 0.081). Still, we prioritized WC over BMI for further models according to previous analyses that showed WC as more sensitive in describing abdominal obesity [32].

Table 3. Association of pubertal timing maturation with waist circumference and body mass index in the total sample.

Waist circumference model				
Variable (n = 207)	**β †**	**p**	**95% CI**	
Waist circumference (cm)	0.006*	0.010	0.002	0.011
Age (years)	0.639	<0.001	0.614	0.664
Sex (girls)	-0.991	<0.001	-1.085	-0.898
Body mass index model				
Variable (n = 207)	**β †**	**p**	**95% CI**	
Body mass index (z-scores)	0.046*	0.010	0.011	0.081
Age (years)	0.655	<0.001	0.632	0.679
Sex (girls)	-0.996	<0.001	-1.091	-0.901

aPHV = age at peak height velocity as the dependent variable (years).
†Adjusted by age and sex.
CI = beta 95% confidence interval.
* $p \leq 0.05$.

An interaction by sex in the main model was detected, then further models stratified by sex and BMI categories (NW and Ow/Ob) were conducted. Data showed that each centimeter of increase in WC in Ow/Ob Elementary school girls and adolescents was significantly associated (p = 0.011) with a 0.043-year increase in aPHV, in an analysis adjusted by age, family monthly income, and PA, indicating that the Ow/Ob girls were closer to aPHV. This result contrasted with the NW girls who decreased their aPHV by 0.01 years with each increase in WC (p = 0.011).

Furthermore, each centimeter of increase on WC was also associated with an increase in aPHV of 0.019 years (p = 0.009) in elementary school and adolescent Ow/Ob boys, when the analysis was adjusted by age, family monthly income, and PA. We observed similar results in NW boys (β = 0.023; p = 0.004). Family monthly income was identified as a risk factor for increasing the years of aPHV (β [x MXN 1,000] = 0.023, p = 0.017). Meanwhile, PA in the Ow/Ob boys tends to be a protective factor for increasing the years of aPHV (β = -0.06 p = 0.193).

Regarding the pubertal tempo, Table 4 shows that in this study, WC was not associated with changes in height (Δheight) (p = 0.146, CI = -0.028 to 0.004) when adjusted by sex and age group.

Table 4. Association of Δheight to waist circumference and other relevant variables.

Variable (n = 203)	β †	p	95% CI	
WC (cm)	-0.012	0.146	-0.028	0.004
Sex (girls)	0.694**	<0.001	0.365	1.023
Age group (elementary school-age)	0.591**	0.001	0.248	0.935

Δheight = difference of height in six months as the dependent variable (cm).
†Adjusted by sex and age group.
CI = beta 95% confidence interval.
* p ≤ 0.05, ** p ≤ 0.001.

Following, we conducted a linear regression model to evaluate the association of muscular strength expressed by the handgrip test to waist circumference (indicator of abdominal obesity) and aPHV (pubertal indicator); results are shown in Table 5.

Table 5. Association of muscular strength with abdominal obesity and pubertal maturation in the total sample

Variable (n = 142)	β †	p	95% CI	
WC (cm)	0.098**	0.005	0.030	0.166
aPHV (years)	3.863**	<0.001	3.366	4.360

Muscular strength = performance in the handgrip test as the dependent variable (kg).
WC= waist circumference; aPHV = age at peak height velocity.
†Adjusted by sex, family monthly income and physical activity.
CI = beta 95% confidence interval.
* $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$.

After adjusting by physical activity, sex, and family monthly income, each increase of one centimeter in WC was associated with an improvement of 0.098 kg in the muscular strength ($p = 0.005$, CI = 0.030 to 0.166) in the total sample; similarly, each year of early aPHV was related to a performance of 3.863 kg ($p < 0.001$, CI = 3.366 to 4.360). The pubertal tempo, characterized by Δheight, does not seem to be related to the performance of the handgrip test when we adjusted for aPHV, WC, PA, sex, and family monthly income in the model. However, there are two relevant variables that could help explain this association; there is a difference by sex, since boys presented 6.931 kg more handgrip strength than girls ($p < 0.001$, CI = 5.499 to 8.363); in addition, an increase of one unit at the physical activity test (PAQ-C) was related to performance muscular strength by 1.043kg ($p = 0.032$, CI = 0.092 to 1.994).

4. Discussion

Findings from this study suggest that, in the Mexican North-Pacific urban context, boys and girls with a certain level of obesity reached

their aPHV earlier than their peers and had a better performance in the handgrip test. This is similar to what other studies in high- and low-income countries and sport contexts have proposed [12,18].

4.1. Timing of pubertal maturity

Obesity was associated with aPHV in elementary school-age children and adolescents of both sexes; this result concurs with those reported in other LMICs [12]. In this sample, obesity is the main factor determining the onset of puberty.

Results regarding pubertal timing characterized by aPHV in Ow/Ob girls coincide with previous reports [33]. Still, it contrasts with our findings for NW girls. This same pattern was reported recently by Lian et al. (2019), who suggested that the adiposity-early puberty relation will not behave linearly at different levels of BMI but will be modified by higher BMI levels, since these alter the mechanisms that induce early maturation [34].

Among factors associated with early onset of maturation, female obesity has shown consistent association in both cross-sectional and follow-up studies [11,34–36]. However, research has also identified other factors. In a systematic review, Fisher and Eugster (2014) reported that in addition to obesity, other variables defined by the environment and family socioeconomic context are related to maturation in females. However, authors suggest that this holds for specific conditions of the context of each population [37].

On the other hand, evidence regarding the association between Ow/Ob and early maturation among young boys and adolescents show inconsistencies [8,35,38]. This may be related to the difficulty in measuring maturation in males, since accurate evaluation requires invasive methods or long-term follow-up [39] (i.e., analysis of testicular volume, bone analysis, or growth curves). For girls, in contrast, age at menarche is easily registered in many societies. Also, hormonal mechanisms that regulate puberty in distinct ranges of adiposity are factors that may be involved with the obesity-early puberty relationship in boys. Authors, such as Nieuwenhuis et al. (2020) and Condorelli et al. (2014), argue that at moderate adiposity levels, leptin promotes early maturation, while at levels of severe obesity exerts an inhibitory effect on gonadal functions [7,40].

According to the above, Bygdell et al. (2018) observed that the increase in BMI was associated with early aPHV, primarily in those with NW [33]; similar findings occurred in the study of a Norwegian population where authors did not observe differences in pubertal timing between normal and overweight boys [41]. In this study, the increase in WC was a better predictor of early aPHV in NW boys than in Ow/Ob boys. However, the association seems to remain after adjusting by income in the Ow/Ob group. Even when studies showed that adiposity contributes to determining maturation onset in children and adolescents, in males, this association appears to be related with puberty in an inverted U effect. Nevertheless, additional studies are needed to support this affirmation.

Physical activity, especially in the Mexican population, is commonly linked to the socioeconomic context [16,42], which in this study seems to delay maturation in Ow/Ob boys, perhaps due to changes in body weight. This was not observed in the group of girls,

probably because it is overshadowed by a lower physical activity from childhood to adolescence, as this study and others report [43]. Hence, this is important when designing intervention strategies to increase PA among obese children [44].

For other contextual factors considered in this study, family socioeconomic level proved to be associated to aPHV. Results are particularly significant in LMICs, since a considerable wage gap between high- and low-income population groups exist in these countries [45].

About the obesity-pubertal timing association, some studies describe the main biological mechanisms that explain the role of obesity in the early onset of puberty. Although these may differ by sex, excess adiposity induces leptin resistance and, consequently, stimulate the activation of the hypothalamic-pituitary-gonadal axis (HPG) in both, males and females by high leptin, TNF-α, and inter-leucine-6 levels, combined with low adiponectin levels, giving rise to the early onset of puberty [46]. Although leptin and adiponectin levels may be adrenal modulators of this mechanism, they are not strictly necessary for initiating puberty [7]. Therefore, investigators predicted that aPHV would be stimulated at high WC levels. However, evidence of this study indicates that the time of aPHV depends on the effect of biological and environmental factors that interact and, ultimately, determine the time when maturation begins in a LMIC population [37].

Thus, it is likely that factors such as socioeconomic status are critical among boys without Ow/Ob, in regard to the mentioned association. Research shows that low socioeconomic status is a crucial factor in the early appearance of maturation but, more importantly, that obesity is not necessarily a mediator of this association, suggesting they are independent factors [47]. In this study, a similar pattern was observed, particularly in the NW boys' group.

4.2. Tempo of pubertal physical maturity

Neuroendocrine changes characterize puberty to adulthood [7]. Starting the process at different timing has consequences at several levels. Studies suggest that the average time for these changes is usually around four years, with a range from 1 to 7 years [48]. In addition, these changes could have consequences at the biological level; studies suggest that high speed of change reduces bone health in the long term [49], a problem that, added to obesity and related comorbidities in adult life, represents a severe health problem.

In this study, we did not observe a relationship between obesity and the speed of pubertal onset ($p = 0.065$), probably due a small sample size. Nevertheless, these findings in such a short time should be considered, as it reflects the relevance of obesity treatment efforts at this sensitive age. Moreover, a recent systematic review reports that there is a relationship between increased adiposity at this age and pubertal tempo among both boys and girls [48].

4.3. Muscle strength

There are two tests to measure muscle strength in children and adolescents: long jump and handgrip strength. The long jump test is associated with lower limb muscle power [30,50], which means this would not be the best option in Ow/Ob children due to the weight-to-

power ratio required to displace high body mass [51]. Handgrip strength on the other hand, is more reliable for describing upper limb and trunk muscle strength [52,53]. Several authors link muscular strength to growth and development by associating handgrip strength performance with early physical maturation [54,55]. This is the reason why authors such as Malina et al. (2015) and Verdugo (2015) reported early aPHV as an advantage in sports [18,19].

An increase in muscle mass is related to high handgrip performance, even acknowledging that increases in total body mass reflect a higher BMI [3]. Likewise, our results show that children and adolescents with higher abdominal adiposity, measured by WC, perform better on the handgrip test, though the strength is influenced by total body mass, which does not necessarily mean good health or better functional performance [56,57].

Although handgrip strength can improve under specific training conditions, evidence indicates that in non-athlete populations, PA is secondary to the advantages that maturation status or an increased body mass can contribute to performance [58]. Results in this study report an increase of handgrip strength relative to those who are thinner and present a later physical maturation, when the analysis is adjusted by WC, aPHV, sex and family monthly income. The most prominent component for strength performance in this stage of life is probably the mechanism of sexual characterization associated with high testosterone levels.

If it is a desirable reality that vulnerable life conditions should never exists for children; although results from this study seem to suggest that an adaptative process allows better performance in Ow/Ob children. This must be taken with caution, since a deep analysis of health status could modify performance in the long term.

We recognize a small sample size in this study, mainly in the Ow/Ob group. However, including two age groups (children and adolescents) and a follow-up of 6 months allowed us to observe the process of physical maturation in a harsh period for follow-up studies due to the COVID-19 emergency during 2020. Another limitation is that only 57% of the adolescent girls had reached menarche, and only one subject of all participants had reached aPHV at the time of evaluation. These factors limit the analysis of the effects of obesity on early and late pubertal timing and emphasize the need for longitudinal follow-up work.

5. Conclusions

Key issues that emerge from this study include the trajectory path of physical aptitudes concerning the status and speed of maturation and Ow/Ob during puberty in Mexican children. Longitudinal monitoring of physical growth and maturation data on children and adolescents could lay the groundwork to help improve children and adolescents' health performance in a context of high prevalence of Ow/Ob. At the same time, enhanced knowledge of these matters could improve the design and testing of intervention models based on the advantages of developing physical aptitudes, as reported herein.

Obesity plays a significant role in the onset of puberty in this sample of Mexican elementary school and adolescent children of both sexes, as described in both LMICs and HICs. However, paradoxically, severe adiposity levels in adolescent males appear to inhibit this mechanism. This association perhaps is not a result only from the biological processes typical of pubertal physical maturation but from multiple factors, including socioeconomic level and physical activity.

List of abbreviations

aPHV = age of peak height velocity
WC = waist circumference
BMI = body mass index
PA = physical activity
NW = normal weight
Ow = overweight
Ob = obesity

Declarations

Ethics approval and consent to participate: All subjects agreed to participate freely and voluntarily. The Institutional Ethics Committee at CIAD, AC approved the research protocol (reference number CE/016/2018).

Consent for publication: All participants signed an informed consent letter.

Availability of data and materials: The datasets used and analyzed in this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interests.

Funding: The work was supported by CIAD, AC institutional grant for basic research.

Authors' contributions:

Luis Talavera: conceptualization and study design (equal), formal analysis (lead), methodology (lead), visualization (lead), and writing of the original draft (equal). **Graciela Caire:** formal analysis (supporting), final writing, review, and editing (equal). **David Jimenez:** final writing, review, and editing (equal). **Rosa Olivia Méndez:** final writing, review, and editing (equal). **Gloria Portillo:** project administration and supervision (supporting), final writing, review, and editing (equal). **Alma Contreras:** methodology (supporting). **María-Isabel Ortega:** conceptualization and study design (equal), formal analysis (supporting), funding acquisition (lead), project administration and supervision (lead), final writing, review, and editing (equal).

Acknowledgments: We thank María Paredes, Dayra Zarate, Kennia Chaparro, Paola Peralta, and Abel Carrasco for their support during fieldwork.

References

1. Tanner JM. Normal growth and techniques of growth assessment. Clin Endocrinol Metab. 1986;15(3):411–51.
2. Faienza MF, Chiarito M, Molina-Molina E, Shanmugam H, Lammert F, Krawczyk M, et al. Childhood obesity, cardiovascular and liver health: a growing epidemic with age. World J Pediatr [Internet]. 2020;16(5):438–45. Available from: https://doi.org/10.1007/s12519-020-00341-9
3. Dimitri P. The Impact of Childhood Obesity on Skeletal Health and Development. J Obes Metab Syndr. 2019;28(1):4–17.
4. Du T, Fonseca V, Chen W, Bazzano LA. Changes in body size phenotypes from childhood to adulthood and the associated cardiometabolic outcomes. Diabetes Res Clin Pract [Internet]. 2022;187:109884. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168822722006970
5. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The state of food security and nutrition in the world 2017 [Internet]. 2017. 30 p. Available from: http://www.who.int/nutrition/publications/foodsecurity/state-food-security-nutrition-2017-inbrief-en.pdf?ua=1
6. Ohlsson C, Bygdell M, Sondén A, Jern C, Rosengren A, Kindblom JM. BMI increase through puberty and adolescence is associated with risk of adult stroke. Neurology. 2017;89(4):363–9.
7. Nieuwenhuis D, Pujol-Gualdo N, Arnoldussen IAC, Kiliaan AJ. Adipokines: A gear shift in puberty. Vol. 21, Obesity Reviews. 2020. p. 1–10.
8. Bratberg GH, Nilsen TIL, Holmen TL, Vatten LJ. Early sexual maturation, central adiposity and subsequent overweight in late adolescence. A four-year follow-up of 1605 adolescent Norwegian boys and girls: The Young HUNT study. BMC Public Health. 2007;7:1–7.
9. Buyken AE, Bolzenius K, Karaolis-Danckert N, Günther ALB, Kroke A. Body composition trajectories into adolescence according to age at pubertal growth spurt. Am J Hum Biol. 2011;23(2):216–24.
10. Freedman DS, Kettel Khan L, Serdula MK, Dietz WH, Srinivasan SR, Berenson GS. The relation of menarcheal age to obesity in childhood and adulthood: The Bogalusa heart study. BMC Pediatr. 2003;3:1–9.
11. De Leonibus C, Marcovecchio ML, Chiavaroli V, De Giorgis T, Chiarelli F, Mohn A. Timing of puberty and physical growth in obese children: A longitudinal study in boys and girls. Pediatr Obes. 2014;9(4).
12. Moodie JL, Campisi SC, Salena K, Wheatley M, Vandermorris A, Bhutta ZA. Timing of Pubertal Milestones in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. Adv Nutr. 2020;4(11):951–9.
13. UNICEF. Salud y nutrición [Internet]. Salud y nutrición. 2022 [cited 2022 May 19]. Available from: https://www.unicef.org/mexico/salud-y-nutrición
14. Little BB, Malina RM, Pena-Reyes ME, Chavez GB. Thinness, overweight, and obesity in indigenous school children and youth in Mexico. Ann Hum Biol [Internet]. 2019;46(6):448–59. Available from: https://doi.org/10.1080/03014460.2019.1674378
15. Malina RM, Little BB, Lanceta J, Peña Reyes ME, Bali Chávez G. Geographic variation in the growth status of indigenous school children and youth in Mexico. Am J Phys Anthropol [Internet]. 2018 Dec 1;167(4):791–803. Available from: https://doi.org/10.1002/ajpa.23706
16. Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero M, et al. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Instituto Nacional de Salud Pública, editor. Cuernavaca, México; 2021.
17. INEGI. ENCUESTA NACIONAL DE INGRESOS Y GASTOS DE LOS HOGARES 2020 (ENIGH) [Internet]. 2021. Available from: https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/
18. Malina RM, Rogol AD, Cumming SP, Coelho E Silva MJ, Figueiredo AJ. Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. Br J Sports Med. 2015;49(13):852–9.
19. Verdugo MF. El proceso de maduración biológica y el rendimiento deportivo. Rev Chil Pediatr [Internet]. 2015;86(6):383–5. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.10.003
20. Baxter-Jones ADG, Barbour-Tuck EN, Dale D, Sherar LB, Knight CJ, Cumming SP, et al. The role of growth and maturation during adolescence on team-selection and short-term sports participation. Ann Hum Biol [Internet]. 2020 Jan 21;47(4):316–23. Available from: https://doi.org/10.1080/03014460.2019.1707870

21. INEGI. Censo de Escuelas, Maestros y Alumnos de Educación Básica y Especial [Internet]. 2013. Available from: https://www.inegi.org.mx/sistemas/mapa/atlas/
22. INEGI. Mapa interactivo de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) [Internet]. 2018. Available from: https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=26
23. CONAPO. Consejo Nacional de Población [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 20]. Available from: www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_%0AIndice_de_Marginacion
24. Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, Ridder H. Protocolo internacional para la valoración antropométrica ISAK. 2011th ed. ISAK, editor. 2011.
25. Blössner M, Siyam A, Borghi E, Onyango A, De Onis M. WHO AnthroPlus for personal computers manual: software for assessing growth of the world's children and adolescents. World Heal Organ Geneva, Switz. 2009;
26. Onis M de, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. Bull World Health Organ. 2007;85:660–7.
27. Mirdwald RL, G. Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. Med Sci Sport Exerc [Internet]. 2002;34(4):689–94. Available from: http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005768-200204000-00020
28. Moore SA, Cumming SP, Balletta G, Ramage K, Eisenmann JC, Baxter-Jones ADG, et al. Exploring the relationship between adolescent biological maturation, physical activity, and sedentary behaviour: a systematic review and narrative synthesis. Ann Hum Biol. 2020;47(4):365–83.
29. Kowalski K, Crocker P, Donen R. The Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-C) and Adolescents (PAQ-A) Manual. Coll Kinesiol Univ Saskatchewan [Internet]. 2004;1(87):1–38. Available from: https://www.prismsports.org/UserFiles/file/PAQ_manual_ScoringandPDF.pdf
30. Ruiz JR, Castro-Piñero J, España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Cuenca MAM, et al. Field-based fitness assessment in young people: The ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. Br J Sports Med. 2010;45(6):518–24.
31. Comité de nivel socioeconómico AMAI. Nivel Socio Económico AMAI 2018 [Internet]. 2017. Available from: https://nse.amai.org/cuestionarios/
32. FINUT Virtual conference 2020. Ann Nutr Metab. 2020;76(suppl 4):117.
33. Bygdell M, Kindblom JM, Celind J, Nethander M, Ohlsson C. Childhood BMI is inversely associated with pubertal timing in normal-weight but not overweight boys. Am J Clin Nutr. 2018;108(6):1259–63.
34. Lian Q, Mao Y, Luo S, Zhang S, Tu X, Zuo X, et al. Puberty timing associated with obesity and central obesity in Chinese Han girls. BMC Pediatr. 2019 Jan 3;19(1):1–7.
35. Holmgren A, Niklasson A, Nierop AFM, Gelander L, Stefan Aronson A, Sjöberg A, et al. Pubertal height gain is inversely related to peak BMI in childhood. Pediatr Res. 2017;81(3):448–54.
36. Deardorff J, Abrams B, Ekwaru JP, Rehkopf DH. Socioeconomic status and age at menarche: An examination of multiple indicators in an ethnically diverse cohort. Ann Epidemiol. 2014;24(10):727–33.
37. Fisher M, Eugster E. What is in our environment that effects puberty? Reprod Tocixol. 2014;44:7–14.
38. Lee JM, Wasserman R, Kaciroti N, Gebremariam A, Steffes J, Dowshen S, et al. Timing of puberty in overweight versus obese boys. Pediatrics. 2016;137(2).
39. Baird J, Walker I, Smith C, Inskip H. Review of methods for determining pubertal status and age of onset of puberty in cohort and longitudinal studies CLOSER Resource Report: Review of methods for determining pubertal status. CLOSER Resour Rep [Internet]. 2017;(April). Available from: www.closer.ac.uk
40. Condorelli RA, Calogero AE, Vicari E, Mongioi' L, Favilla V, Morgia G, et al. The gonadal function in obese adolescents: review. Mol Diagnosis Ther. 2014;37(12):1133–42.
41. Oehme NHB, Roelants M, Bruserud IS, Madsen A, Bjerknes R, Rosendahl K, et al. Low BMI, but not high BMI, influences the timing of puberty in boys. Andrology [Internet]. 2021 May 1;9(3):837–45. Available from: https://doi.org/10.1111/andr.12985
42. González Valencia DG, Grijalva Haro MI, Montiel Carbajal M, Ortega Vélez MI. Identificación de factores predisponentes, reforzadores y capacitadores para una alimentación y actividad física adecuadas en escolares sonorenses [Internet]. Vol. 30, Región y sociedad. 2018. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252018000200006&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v30n72/1870-3925-regsoc-30-72-00006.pdf
43. van Sluijs EMF, Ekelund U, Crochemore-Silva I, Guthold R, Ha A, Lubans D, et al. Physical activity

behaviours in adolescence: current evidence and opportunities for intervention. Lancet [Internet]. 2021;398(10298):429–42. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01259-9
44. Reinehr T, Bosse C, Lass N, Rothermel J, Knop C, Roth CL. Effect of Weight Loss on Puberty Onset in Overweight Children. J Pediatr [Internet]. 2017;184:143-150.e1. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.01.066
45. Ward JL, Viner RM. The impact of income inequality and national wealth on child and adolescent mortality in low and middle-income countries. BMC Public Health. 2017;17(1):1–8.
46. Jiménez-Pavón D, Ortega FB, Artero EG, Labayen I, Vicente-Rodriguez G, Huybrechts I, et al. Physical activity, fitness, and serum leptin concentrations in adolescents. J Pediatr. 2012 Apr;160(4):598-603.e2.
47. Deardorff J, Fyfe M, Ekwaru JP, Kushi LH, Greenspan LC, Yen IH. Does neighborhood environment influence girls' pubertal onset? findings from a cohort study. BMC Pediatr [Internet]. 2012;12(1):27. Available from: http://www.biomedcentral.com/1471-2431/12/27
48. Cheng HL, Harris SR, Sritharan M, Behan MJ, Medlow SD, Steinbeck KS. The tempo of puberty and its relationship to adolescent health and well-being: A systematic review. Acta Paediatr Int J Paediatr. 2020;109(5):900–13.
49. Cole T, Kuh D, Johnson W, Ward K, Howe L, Adams J, et al. Using Super-Imposition by Translation And Rotation (SITAR) to relate pubertal growth to bone health in later life: the Medical Research Council (MRC) National Survey of Health and Development. Int J Epidemiol [Internet]. 2016;45(4):1125–34. Available from: https://academic.oup.com/ije/article-lookup/doi/10.1093/ije/dyw134
50. Pacheco-Herrera J, Ramírez-Vélez R, Correa-Bautista J. Índice general de fuerza y adiposidad como medida de la condición física relacionada con la salud en niños y adolescentes de Bogotá, Colombia: Estudio FUPRECOL. Nutr Hosp [Internet]. 2016;35(3):550–6. Available from: http://dx.doi.org/10.20960/nh.1540
51. Sepulveda-Caceres X, Mendez-Cornejo J, Duarte-Farfán C, Herrera-Blanco M, Gomez-Campos R, Lazari E, et al. Relación entre adiposidad corporal y salto horizontal en niños y adolescentes escolares. Rev Chil Pediatría [Internet]. 2018;89(6):701–8. Available from: http://www.revistachilenadepediatria.cl/index.php/rchped/article/view/653
52. Ortega FB, Artero EG, Ruiz JR, España-Romero V, Jiménez-Pavón D, Vicente-Rodriguez G, et al. Physical fitness levels among European adolescents: the HELENA study. Br J Sports Med. 2011 Jan;45(1):20–9.
53. Jiménez-Pavón D, Ortega FB, Valtueña J, Castro-Piñero J, Gómez-Martínez S, Zaccaria M, et al. Muscular strength and markers of insulin resistance in European adolescents: The HELENA Study. Eur J Appl Physiol. 2012;112(7):2455–65.
54. Bahamonde C, Huberman J, Lagos O, Didier P. Fuerza prensil y desarrollo puberal. Educ Fis Chile. 2008;77(266):19–28.
55. Söğüt M, Luz LGO, Kaya ÖB, Altunsoy K, Doğan AA, Kirazci S, et al. Age-and maturity-related variations in morphology, body composition, and motor fitness among young female tennis players. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(13):2412.
56. Fenato RR, Araujo ACF, Guimarães ATB. Comparison of gluteus medius strength between individuals with obesity and normal-weight individuals: a cross-sectional study. BMC Musculoskelet Disord [Internet]. 2021;22(1):584. Available from: https://doi.org/10.1186/s12891-021-04470-8
57. Koushyar H, Nussbaum MA, Davy KP, Madigan ML. Relative Strength at the Hip, Knee, and Ankle Is Lower Among Younger and Older Females Who Are Obese. J Geriatr Phys Ther [Internet]. 2017;40(3):143–9. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27007990
58. Otero J, Cohen DD, Herrera VM, Camacho PA, Bernal O, López-Jaramillo P. Sociodemographic factors related to handgrip strength in children and adolescents in a middle income country: The SALUS study. Am J Hum Biol. 2017;29(1):1–10.

4. CONCLUSIONES GENERALES

En relación a las hipótesis planteadas en el presente trabajo de investigación, en la población de Hermosillo, Sonora, se estima que los niños escolares y adolescentes que padecen obesidad abdominal presentarán su edad a la velocidad pico de crecimiento antes que los niños con menor nivel de obesidad abdominal. Las niñas alcanzarán la velocidad pico de crecimiento en promedio un año y dos meses antes que los niños. Por otra parte, respecto a la velocidad de progresión en la maduración física, no se observó una asociación entre la obesidad abdominal y los cambios de estatura en un periodo de 6 meses.

Con respecto a las aptitudes, se demostró una asociación positiva entre la presencia de obesidad abdominal y una velocidad pico de crecimiento (aPHV) más temprana, con un mayor nivel de rendimiento en la fuerza prensil.

La resolución satisfactoria de las hipótesis planteadas aporta a futuras investigaciones herramientas para fortalecer el diseño de programas de intervención, en especial aquellas que tengan como objetivo la prevención y el tratamiento de la obesidad infantil, esperando que pueda coadyuvar en el sostenimiento de los resultados vistos en otros programas.

5. RECOMENDACIONES

Debido a la contingencia epidemiológica causada por el virus SARS-COV 2, el trabajo en campo se vio interrumpido y solo se realizaron dos de las seis evaluaciones planeadas; se recomienda que en futuros estudios se amplíe el tiempo de observación, de manera que se pueda realizar un análisis longitudinal de la curva de crecimiento, usando modelos epidemiológicos como SITAR o QEPS (T. J. Cole, 2018; Nierop et al., 2016). Adicionalmente, se sugiere ampliar el tamaño de la muestra para un análisis más robusto de la prevalencia de obesidad, sobre todo en las niñas.

Así mismo, se propone que futuras investigaciones puedan partir de la premisa que deposita esta tesis: los niños y adolescentes con obesidad tendrán un desarrollo anticipado de su maduración física, lo que tiene como consecuencia un aumento en el rendimiento de la fuerza muscular. De esta manera, los esfuerzos para reducir la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes pueden basarse en programas de activación física orientados al aprovechamiento de la fuerza y por lo tanto, ser más incluyentes con los niños en general.

6. REFERENCIAS

Asadi, A., Arazi, H., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Izquierdo, M. (2017). Influence of maturation stage on agility performance gains after plyometric training: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31*(9), 2609–2617.

Baird, J., Walker, I., Smith, C., & Inskip, H. (2017). Review of methods for determining pubertal status and age of onset of puberty in cohort and longitudinal studies CLOSER Resource Report: Review of methods for determining pubertal status. *CLOSER Resource Report*, *April*. www.closer.ac.uk

Bann, D., Scholes, S., Fluharty, M., & Shure, N. (2019). Adolescents' physical activity: Cross-national comparisons of levels, distributions and disparities across 52 countries. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *16*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/s12966-019-0897-z

Bratberg, G. H., Nilsen, T. I. L., Holmen, T. L., & Vatten, L. J. (2007). Early sexual maturation, central adiposity and subsequent overweight in late adolescence. A four-year follow-up of 1605 adolescent Norwegian boys and girls: The Young HUNT study. *BMC Public Health*, *7*, 1–7. https://doi.org/10.1186/1471-2458-7-54

Bristol (Reino Unido): Development Initiatives. (2021). El estado de la nutrición en el mundo. In *Informe de la Nutrición Mundial 2021*. https://globalnutritionreport.org/reports/2021-global-nutrition-report/executive-summary/

Buyken, A. E., Bolzenius, K., Karaolis-Danckert, N., Günther, A. L. B., & Kroke, A. (2011). Body composition trajectories into adolescence according to age at pubertal growth spurt. *American Journal of Human Biology*, *23*(2), 216–224. https://doi.org/10.1002/ajhb.21125

Cameron, N. (2015). Can maturity indicators be used to estimate chronological age in children? In *Annals of Human Biology*. https://doi.org/10.3109/03014460.2015.1032349

Ciangura, C., Carette, C., Faucher, P., Czernichow, S., & Oppert, J.-M. (2017). Obesidad del adulto. *EMC - Tratado de Medicina*, *21*(2), 1–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1636-5410(17)84245-8

Cole, T. J. (2018). Optimal design for longitudinal studies to estimate pubertal height growth in individuals. *Annals of Human Biology*, *45*(4), 314–320. https://doi.org/10.1080/03014460.2018.1453948

Cole, T. J., Donaldson, M. D. C., & Ben-shlomo, Y. (2010). SITAR-a useful instrument for growth curve analysis. *International Journal of Epidemiology*, *39*(6), 1558–1566. https://doi.org/10.1093/ije/dyq115

Cole, T., Kuh, D., Johnson, W., Ward, K., Howe, L., Adams, J., Hardy, R., & Ong, K. (2016). Using Super-Imposition by Translation And Rotation (SITAR) to relate pubertal growth to bone health in later life: the Medical Research Council (MRC) National Survey of Health and Development. *International Journal of Epidemiology*, *March 2018*, dyw134. https://doi.org/10.1093/ije/dyw134

Corley, R. P., Beltz, A. M., Wadsworth, S. J., & Berenbaum, S. A. (2015). Genetic Influences on Pubertal Development and Links to Behavior Problems. *Behavior Genetics*, *45*(3), 294–312. https://doi.org/10.1007/s10519-015-9719-5

De Leonibus, C., Marcovecchio, M. L., Chiavaroli, V., De Giorgis, T., Chiarelli, F., & Mohn, A. (2014). Timing of puberty and physical growth in obese children: A longitudinal study in boys and girls. *Pediatric Obesity*, *9*(4). https://doi.org/10.1111/j.2047-6310.2013.00176.x

Demirjian, A., Buschang, P. H., Tanguay, R., & Patterson, D. K. (1985). Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *American Journal of Orthodontics*. https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90070-3

ENSANUT. (2016). Informe final de resultados medio camino. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Medio Camino 2016*, *2016*, 47–50.

Faienza, M. F., Chiarito, M., Molina-Molina, E., Shanmugam, H., Lammert, F., Krawczyk, M., D'Amato, G., & Portincasa, P. (2020). Childhood obesity, cardiovascular and liver health: a growing epidemic with age. *World Journal of Pediatrics*, *16*(5), 438–445. https://doi.org/10.1007/s12519-020-00341-9

Farello, G., Altieri, C., Cutini, M., Pozzobon, G., & Verrotti, A. (2019). Review of the literature on current changes in the timing of pubertal development and the incomplete forms of early puberty. *Frontiers in Pediatrics*, *7*(MAR), 1–7. https://doi.org/10.3389/fped.2019.00147

Fransen, J., Skorski, S., & Baxter-Jones, A. D. G. (2021). Estimating is not measuring: the use of non-invasive estimations of somatic maturity in youth football. *Science and Medicine in Football*, *5*(4), 261–262. https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1975808

Freedman, D. S., Kettel Khan, L., Serdula, M. K., Dietz, W. H., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (2003). The relation of menarcheal age to obesity in childhood and adulthood: The Bogalusa heart study. *BMC Pediatrics*, *3*, 1–9. https://doi.org/10.1186/1471-2431-3-3

Gatica, C. C., Flores, A. A., Rodríguez, F. R., Farias, T. Y., de la Rosa, F. B., Salazar, C. M., Aguilera, C. J., Ávila, C. B., Urra, P. S., Montero, C. C., Chávez, J. B., Aguilante, J. P., & Brunet, L. N. (2016). Evaluación de la composición corporal en niños y adolescentes: Directrices y recomendaciones. *Nutricion Hospitalaria*, *33*(3), 734–738. https://doi.org/10.20960/nh.285

Harries, M. L. L., Walker, J. M., Williams, D. M., Hawkins, S., & Hughes, I. A. (1997). Changes in the male voice at puberty. *Archives of Disease in Childhood*. https://doi.org/10.1136/adc.77.5.445

Hidalgo, R., Elizondo, T., Bermudo, F. M. M., Méndez, R. P., Amorós, G. B., Padilla, E. L., & de la Rosa, F. J. B. (2015). Nutritional intake and nutritional status in elite Mexican teenagers soccer players of different ages. *Nutricion Hospitalaria*, *32*(4), 1735–1743.

Huang, A., & Roth, C. L. (2021). The link between obesity and puberty: what is new? *Current Opinion in Pediatrics*, *33*(4), 449–457.

Johnson, W. (2015). Analytical strategies in human growth research. *American Journal of Human Biology*, *27*(1), 69–83. https://doi.org/10.1002/ajhb.22589

Kelishadi, R., Mirmoghtadaee, P., Najafi, H., & Keikha, M. (2015). Systematic review on the association of abdominal obesity in children and adolescents with cardio-metabolic risk

factors. *Journal of Research in Medical Sciences*, *20*(3), 294–307.

Kindblom, J. M., Lorentzon, M., Hellqvist, Å., Lönn, L., Brandberg, J., Nilsson, S., Norjavaara, E., & Ohlsson, C. (2009). BMI changes during childhood and adolescence as predictors of amount of adult subcutaneous and visceral adipose tissue in men: The good study. *Diabetes*, *58*(4), 867–874. https://doi.org/10.2337/db08-0606

Kuh, D., Muthuri, S. G., Moore, A., Cole, T. J., Adams, J. E., Cooper, C., Hardy, R., & Ward, K. A. (2016). Pubertal timing and bone phenotype in early old age: findings from a British birth cohort study. *International Journal of Epidemiology*, *March*, dyw131. https://doi.org/10.1093/ije/dyw131

Macias, C. (2014). Sindrome metabólico en niños y adolescentes: Qué hay de nuevo? *Anales Venezolanos de Nutrición*, 96–100.

Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho E Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(13), 852–859. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623

Matsha, T. E., Ismail, S., Speelman, A., Hon, G. M., Davids, S., Erasmus, R. T., & Kengne, A. P. (2019). Visceral and subcutaneous adipose tissue association with metabolic syndrome and its components in a South African population. *Clinical Nutrition ESPEN*, *32*, 76–81. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.04.010

Medeiros, R. M. V., Arrais, R. F., de Azevedo, J. C. V., do Rêgo, J. T. P., de Medeiros, J. A., de Andrade, R. D., & Dantas, P. M. S. (2014). Contribution of anthropometric characteristics to pubertal stage prediction in young male individuals. *Revista Paulista de Pediatria : Orgão Oficial Da Sociedade de Pediatria de São Paulo*, *32*(3), 229–235. https://doi.org/10.1590/0103-0582201432313

Mendle, J. (2014). Beyond Pubertal Timing: New Directions for Studying Individual Differences in Development. *Current Directions in Psychological Science*, *23*(3), 215–219. https://doi.org/10.1177/0963721414530144

Mirdwald, R. L., G. Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *34*(4), 689–694. https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020

Lineamientos de ajuste a las horas lectivas, Pub. L. No. 592, Diario Oficial de la Federación 1 (2020). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5584617&fecha=23/01/2020&print=true

Moreira, O. C., Alonso-Aubin, D. A., Patrocinio De Oliveira, C. E., Candia-Luján, R., & De Paz, J. A. (2015). Methods of assessment of body composition: an updated review of description, application, advantages and disadvantages. *Arch Med Deporte*, *32*(May 2017), 387–394. http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/rev1_costa_moreira.pdf

Nierop, A. F. M., Niklasson, A., Holmgren, A., Gelander, L., Rosberg, S., & Albertsson-Wikland, K. (2016). Modelling individual longitudinal human growth from fetal to adult life − QEPS I. *Journal of Theoretical Biology*, *406*, 143–165. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2016.06.007

Nieuwenhuis, D., Pujol-Gualdo, N., Arnoldussen, I. A. C., & Kiliaan, A. J. (2020). Adipokines: A gear shift in puberty. In *Obesity Reviews* (Vol. 21, Issue 6, pp. 1–10).

https://doi.org/10.1111/obr.13005

Noubiap, J. J., Nansseu, J. R., Lontchi-Yimagou, E., Nkeck, J. R., Nyaga, U. F., Ngouo, A. T., Tounouga, D. N., Tianyi, F. L., Foka, A. J., Ndoadoumgue, A. L., & Bigna, J. J. (2022). Global, regional, and country estimates of metabolic syndrome burden in children and adolescents in 2020: a systematic review and modelling analysis. *The Lancet Child & Adolescent Health*, *6*(3), 158–170. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2352-4642(21)00374-6

Nuñez Almache, O. (2015). Pubertad precoz : no solo una cuestión de edad Precocious puberty : not only a matter of age. *An Fac Med*, *76*(3), 277–283.

Ohlsson, C., Bygdell, M., Sondén, A., Jern, C., Rosengren, A., & Kindblom, J. M. (2017). BMI increase through puberty and adolescence is associated with risk of adult stroke. *Neurology*, *89*(4), 363–369. https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004158

Onis, M. de, Onyango, A. W., Borghi, E., Siyam, A., Nishida, C., & Siekmann, J. (2007). Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization*, *85*, 660–667.

Ortega, F. B., Artero, E. G., Ruiz, J. R., España-Romero, V., Jiménez-Pavón, D., Vicente-Rodriguez, G., Moreno, L. A., Manios, Y., Béghin, L., Ottevaere, C., Ciarapica, D., Sarri, K., Dietrich, S., Blair, S. N., Kersting, M., Molnar, D., González-Gross, M., Gutiérrez, A., Sjöström, M., & Castillo, M. J. (2011). Physical fitness levels among European adolescents: the HELENA study. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(1), 20–29. https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.062679

Pinho, C. P. S., Diniz, A. da S., De Arruda, I. K. G., Leite, A. P. D. L., Petribú, M. D. M. V., & Rodrigues, I. G. (2017). Predictive models for estimating visceral fat: The contribution from anthropometric parameters. *PLoS ONE*, *12*(7), 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178958

Prasad, M., Ganji, V. K., George, S., Talapaneni, A., & Shetty, S. (2013). A comparison between cervical vertebrae and modified MP3 stages for the assessment of skeletal maturity. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*, *4*(1), 74. https://doi.org/10.4103/0976-9668.107264

Ribeiro, G., & Lopes, A. (2017). Análise da composição corporal: evolução histórica do modelo anatômico de análise tecidual. *RBPFEX-Revista Brasileira De Prescrição E Fisiologia Do Exercício*, *11*(68), 620–625.

Rivera-Barragán, M. D. R., Ramírez González, I. M., Acosta Cervantes, M. del C., & Hernández Diaz, M. N. (2021). Estrategias y Políticas en atención al sobrepeso y obesidad en preescolares y escolares. *Horizonte Sanitario*, *20*(3), 289–304. https://doi.org/10.19136/hs.a20n3.4119

Ross, R., Neeland, I. J., Yamashita, S., Shai, I., Seidell, J., Magni, P., Santos, R. D., Arsenault, B., Cuevas, A., Hu, F. B., Griffin, B. A., Zambon, A., Barter, P., Fruchart, J. C., Eckel, R. H., Matsuzawa, Y., & Després, J. P. (2020). Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, *16*(3), 177–189. https://doi.org/10.1038/s41574-019-0310-7

Ross, W. D., & Kerr, D. A. (1991). Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva. *Apunts*, *18*, 175–187.

Ruiz De Eguilaz, M. H., Martínez De Morentín, B., Pérez-Diez, S., Navas-Carretero, S., & Martínez, J. A. (2010). Estudio comparativo de medidas de composición corporal por absorciometría dual de rayos X, bioimpedancia y pliegues cutańeos en mujeres. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, *76*(2), 209–222.

Sanders, J. O., Qiu, X., Lu, X., Duren, D. L., Liu, R. W., Dang, D., Menendez, M. E., Hans, S. D., Weber, D. R., & Cooperman, D. R. (2017). The Uniform Pattern of Growth and Skeletal Maturation during the Human Adolescent Growth Spurt. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s41598-017-16996-w

Schoettl, T., Fischer, I. P., & Ussar, S. (2018). Heterogeneity of adipose tissue in development and metabolic function. *The Journal of Experimental Biology*, *221*(Suppl 1), jeb162958. https://doi.org/10.1242/jeb.162958

Secretaría de Salud. (2016). *Emite la Secretaría de Salud emergencia epidemiológica por diabetes mellitus y obesidad.* https://www.gob.mx/salud/prensa/emite-la-secretaria-de-salud-emergencia-epidemiologica-por-diabetes-mellitus-y-obesidad

Shamah-Levy, T., Romero-Martínez, M., Barrientos-Gutiérrez, T., Cuevas-Nasu, L., Bautista-Arredondo, S., Colchero, M., Gaona-Pineda, E., Lazcano-Ponce, E., Martínez-Barnetche, J., Alpuche-Arana, C., & Rivera-Dommarco, J. (2021). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados nacionales* (Instituto Nacional de Salud Pública (ed.)).

Simpkin, A. J., Sayers, A., Gilthorpe, M. S., Heron, J., & Tilling, K. (2017). Modelling height in adolescence: a comparison of methods for estimating the age at peak height velocity. *Annals of Human Biology*, *44*(8), 715–722. https://doi.org/10.1080/03014460.2017.1391877

Singh, G. K. S., Balzer, B. W. R., Kelly, P. J., Paxton, K., Hawke, C. I., Handelsman, D. J., & Steinbeck, K. S. (2015). Urinary sex steroids and anthropometric markers of puberty - A novel approach to characterising within-person changes of puberty hormones. *PLoS ONE*, *10*(11), 432–450. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143555

Stewart, A., Marfell-Jones, M., Olds, T., & Ridder, H. (2011). *Protocolo internacional para la valoración antropométrica ISAK* (ISAK (ed.); 2011th ed.).

Tanamas, S. K., Lean, M. E. J., Combet, E., Vlassopoulos, A., Zimmet, P. Z., & Peeters, A. (2016). Changing guards: time to move beyond body mass index for population monitoring of excess adiposity. *QJM: An International Journal of Medicine*, *109*(7), 443–446.

Tandon, P., Wafer, R., & Minchin, J. E. N. (2018). Adipose morphology and metabolic disease. *The Journal of Experimental Biology*, *221*(Suppl 1), jeb164970. https://doi.org/10.1242/jeb.164970

Tanner j M. (1990). Growth at adolescence. *The Eugenics Review*. https://doi.org/10.1136/adc.37.194.454-a

Torres, F. J., Lara-Padilla, E., Sosa-Tallei, G., & Berral, F. J. (2014). Análisis de composición corporal y somatotipo de judokas infantiles y cadetes en el campeonato de España 2012. *International Journal of Morphology*, *32*(1), 194–201.

Tsutsui, T., Iizuka, S., Sakamaki, W., Maemichi, T., & Torii, S. (2022). Growth until Peak Height

Velocity Occurs Rapidly in Early Maturing Adolescent Boys. *Children*, *9*(10), 1–7. https://doi.org/10.3390/children9101570

UNICEF. (2022). *Salud y nutrición*. Salud y Nutrición. https://www.unicef.org/mexico/salud-y-nutrición

Valle-Leal, J., Abundis-Castro, L., Hernández-Escareño, J., & Flores-Rubio, S. (2016). Índice Cintura-Estatura Como Indicador De Riesgo Metabólico En Niños. *Revista Chilena de Pediatria*, *87*(3), 180–185. https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.10.011

Verdugo, M. F. (2015). El proceso de maduración biológica y el rendimiento deportivo. *Revista Chilena de Pediatria*, *86*(6), 383–385. https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.10.003

Wehkalampi, K., Silventoinen, K., Kaprio, J., Dick, D. M., Rose, J., Pulkkinen, L., & Dunkel, L. (2008). Genetic and Environmental Influences on Pubertal Timing Assessed by Height Growth. *American Journal of Human Biology*, *20*(4), 417–423. https://doi.org/10.1002/ajhb.20748.Genetic

Wohlfahrt-Veje, C., Mouritsen, A., Hagen, C. P., Tinggaard, J., Mieritz, M. G., Boas, M., Petersen, J. H., Skakkebæk, N. E., & Main, K. M. (2016). Pubertal onset in boys and girls is influenced by pubertal timing of both parents. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *101*(7), 2667–2674. https://doi.org/10.1210/jc.2016-1073

Won, J. C., Hong, J. W., Noh, J. H., & Kim, D. J. (2016). Association between age at menarche and risk factors for cardiovascular diseases in Korean women the 2010 to 2013 korea national health and nutrition examination survey. *Medicine (United States)*, *95*(18), e3580. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003580

Xi, B., Zong, X., Kelishadi, R., Litwin, M., Hong, Y. M., Poh, B. K., Steffen, L. M., Galcheva, S. V., Herter-Aeberli, I., Nawarycz, T., Krzywińska-Wiewiorowska, M., Khadilkar, A., Schmidt, M. D., Neuhauser, H., Schienkiewitz, A., Kułaga, Z., Kim, H. S., Stawińska-Witoszyńska, B., Motlagh, M. E., … Bovet, P. (2020). International waist circumference percentile cutoffs for central obesity in children and adolescents aged 6 to 18 years. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *105*(4), E1569–E1583. https://doi.org/10.1210/clinem/dgz195

Zhang, Y., Proenca, R., Maffei, M., Barone, M., Leopold, L., & Friedman, J. M. (1994). Positional cloning of the mouse obese gene and its human homologue. *Nature*, *372*(6505), 425.