

Torque muscular isométrico en niñas, niños, y adolescentes chilenos evaluado mediante dinamometría de mantención manual: un estudio de confiabilidad

Isometric muscle torque in Chilean children and adolescents evaluated by manual maintenance dynamometry: a reliability study

Ivonne Jorquera-Cáceres^{a,b,f}, Danayra Vega-Arriagada^{a,f}, Danna Núñez-González^{a,f}, Eduardo Guzmán-Muñoz^{a,b,c,f}, Marcelo Castillo-Retamal^{d,g}, Tuillang Yuing-Farías^{a,b,f}, Francisco José Berral de la Rosa^e, Guillermo Mendez-Rebolledo^{a,b,c,f}

^aEscuela de Kinesiología, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás. Chile.

^bNúcleo de Investigación de Kinesiología (NIK), Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás. Santiago, Chile.

^cLaboratorio de Investigación Somatosensorial y Motora, Escuela de Kinesiología, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás. Talca, Chile.

^dDepartamento de Ciencias de la Actividad Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

^eGrupo de Investigación CTS-595. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla, España.

^fKinesiólogo/a.

^gProfesor Educación Física.

Recibido: 21 de septiembre de 2023; Aceptado: 07 de febrero de 2024

¿Qué se sabe del tema que trata este estudio?

Los estudios de confiabilidad de un protocolo de dinamometría de mantención manual para obtener el torque muscular isométrico máximo en niñas, niños, y adolescentes, son escasos. En población chilena pediátrica no se han reportado valores de confiabilidad con esta técnica.

¿Qué aporta este estudio a lo ya conocido?

Desarrollamos un estudio de confiabilidad para determinar la confiabilidad de la dinamometría de mantención manual para obtener el torque isométrico máximo en músculos de miembro superior e inferior, reportando una buena a excelente confiabilidad inter e intra evaluador en todos los grupos musculares evaluados.

Resumen

La medición del torque muscular isométrico con dinamometría de mantención manual es una técnica poco estudiada en el ámbito pediátrico para la evaluación de la fuerza muscular isométrica máxima. **Objetivo:** determinar la confiabilidad de la dinamometría de mantención manual para obtener el torque isométrico máximo de grupos musculares de miembro superior e inferior de niñas, niños, y adolescentes chilenos. **Pacientes y Método:** Estudio de corte transversal. Setenta y dos participantes entre 7 y 15 años fueron seleccionados de un colegio de la ciudad de Talca. El torque

Palabras clave:

Adolescente;
Niño;
Fuerza Muscular;
Dinamómetro de
Fuerza Muscular

isométrico máximo fue obtenido en 15 grupos musculares de miembro superior e inferior mediante dinamometría de mantención manual. Se utilizó evaluación intra-evaluador e inter-evaluador, aplicando el coeficiente de correlación intraclase (ICC, en inglés) para determinar la confiabilidad de las pruebas y gráficos de Bland-Altman para evaluar la concordancia. **Resultados:** Los resultados demostraron una buena a excelente confiabilidad inter-evaluador (ICC = 0,85-0,98) e intra-evaluador (ICC = 0,87-0,98). Sólo dos grupos, extensores y abductores de cadera, revelaron una buena confiabilidad inter-evaluador (ICC = 0,85 y ICC = 0,88, respectivamente); y un grupo, los dorsiflexores de tobillo, mostraron una buena confiabilidad intra-evaluador (ICC = 0,87). El 100% de las pruebas presentó al menos un 95,8% de concordancia inter-evaluador e intra-evaluador en los gráficos de Bland-Altman. **Conclusiones:** La evaluación del torque muscular isométrico con dinamometría de mantención manual es un procedimiento confiable para su utilización en distintos periodos de crecimiento.

Abstract

The measurement of isometric muscle torque with hand-held dynamometry is a technique little studied in the pediatric setting for the evaluation of maximal isometric muscle strength. **Objective:** to determine the reliability of hand-held dynamometry to obtain the maximal isometric torque of upper and lower limb muscle groups in Chilean children and adolescents. **Patients and Methods:** Cross-sectional study. Seventy-two participants aged between 7 and 15 years were selected from a school in Talca. Maximal isometric torque was recorded in 15 muscle groups of upper and lower limbs through hand-held dynamometry. Intra- and inter-rater evaluation was used, applying the intraclass correlation coefficient (ICC) to determine the reliability of the tests and Bland-Altman plots to evaluate concordance. **Results:** The results demonstrated good to excellent inter-rater reliability (ICC = 0.85-0.98) and intra-rater reliability (ICC = 0.87-0.98). Only two groups, hip extensors and abductors, showed good inter-rater reliability (ICC = 0.85 and ICC = 0.88, respectively); and one group, the ankle dorsiflexors, showed good intra-rater reliability (ICC = 0.87). 100% of the tests presented at least 95.8% inter- and intra-rater agreement on the Bland-Altman plots. **Conclusion:** The evaluation of isometric muscle torque using hand-held dynamometry is a reliable procedure for use in different growth periods.

Keywords:

Adolescent;
Child;
Muscle Strength;
Muscle Strength
Dynamometer

Introducción

La evaluación de la fuerza muscular es un indicador relevante para la salud pública de niñas, niños y adolescentes, así como también, una medida clínica importante en la rehabilitación musculoesquelética, cardiovascular y neurológica pediátrica¹⁻³. Se estima, que niños con disminución de masa y fuerza muscular, tienen más probabilidades de sobrepeso, obesidad, y otras problemáticas, como enfermedades cardiovasculares, disfunción metabólica, alteración del neurodesarrollo y lesiones musculoesqueléticas⁴⁻⁶.

La fuerza muscular se puede evaluar mediante dinamometría isocinética, dinamometría de mantención manual (HHD, del inglés Hand-Held Dynamometry), o distintas pruebas clínicas⁷. Algunos de estos métodos tienen limitaciones, por ejemplo, la prueba muscular manual, basada en la escala de 1 a 5, del Consejo de Investigación Médica (MRC del Inglés Medical Research Council)⁸, ha mostrado ser útil y confiable ante un déficit de fuerza importante (puntuación 1, 2 o 3 en la escala), sin embargo, una baja sensibilidad, en niveles

superiores (4 y 5)⁹. La dinamometría isocinética, por su parte, utiliza instrumentación costosa, y requiere de una alta capacitación⁸.

La fuerza medida con HHD, depende de la distancia entre el punto de aplicación del dinamómetro y el centro de rotación de la articulación^{10,11}, por tanto, considerar la medición bruta del dinamómetro de mantención manual como la “fuerza muscular” es engañoso, ya que la medida depende del brazo de la palanca rotacional, es decir, la distancia, o brazo de palanca, que al ser multiplicada por la fuerza obtenida del dinamómetro, entrega el torque muscular o momento de fuerza¹², el torque muscular representa asimismo, desde un punto de vista biomecánico, el efecto rotacional de una fuerza sobre un eje articular¹².

Por estos motivos, es necesario que se considere el torque muscular como un estándar para la medición de la fuerza en niños, niñas y adolescentes, especialmente por las etapas de crecimiento y maduración donde las variaciones de longitud ósea y diámetro muscular ocurren en periodos cortos de tiempo¹³. Cabe destacar que los antecedentes sobre la confiabilidad de la medición

del torque muscular isométrico evaluado mediante HHD en niñas, niños, y adolescentes, son escasos. La HHD evalúa mediante dos tipos de métodos; el método de quiebre o empuje (del inglés break) para fuerza excéntrica; y el método de mantención (del inglés make) para evaluar fuerza isométrica¹⁴. De estas pruebas, la más utilizada es la de mantención, debido a su aplicabilidad en la mayoría de los grupos musculares, menor riesgo de dolor y de lesiones^{2,15,16}. También, se han demostrado valores de confiabilidad categorizados entre “moderado a excelente” para la prueba de mantención isométrica, en distintos estudios en población escolar^{1,17}, sin embargo, ni en población chilena pediátrica ni adolescente, se han reportado valores de confiabilidad mediante el método de mantención a través de HHD.

Así, la hipótesis de esta investigación es que la confiabilidad en las mediciones de dinamometría de mantención manual, para obtener el torque isométrico máximo muscular, tanto en evaluaciones inter evaluadores e intra evaluadores, puede ser suficiente para crear un protocolo de evaluación en el área de diagnóstico de fuerza en niños, niñas y adolescentes. Creemos importante, evaluar la prueba de HHD, en las distintas etapas del crecimiento¹³, así se podrá validar a lo largo del desarrollo infante-juvenil sin caracterizar una sola etapa y se podrá aportar con información valiosa que permita la creación de estándares de práctica profesional en el área de diagnóstico muscular en población pediátrica. El objetivo de este estudio fue determinar la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador de la dinamometría de mantención manual para la obtención del torque muscular isométrico máximo, en grupos musculares de miembro superior e inferior de niñas, niños, y adolescentes chilenos.

Pacientes y Método

Diseño: Este fue un estudio observacional de corte transversal, el cual evaluó la confiabilidad de las mediciones de torque muscular isométrico máximo en niñas, niños, y adolescentes de 7 a 15 años. Se seleccionaron por conveniencia, mediante un muestreo no probabilístico, 72 participantes, todos escolares pertenecientes a un colegio de la ciudad de Talca, los que constituyeron 9 estratos etarios (de 7 a 15 años), participando 8 sujetos (4 niños y 4 niñas) por cada estrato de edad. Este procedimiento de selección de la muestra fue basado en investigaciones previas para la evaluación de confiabilidad de mediciones de torque isométrico^{1,14}. Tanto los menores de edad, como sus padres fueron informados sobre el protocolo, y se obtuvo el consentimiento informado de los padres/tutores y el asentimiento de los menores de edad. Los criterios de

inclusión de los participantes fueron: hablantes de español, etnia latina, una edad entre 7 y 15 años, con un desarrollo típico y una función cognitiva intacta para comprender las órdenes dadas por el evaluador. Los participantes fueron excluidos si presentaban: (i) antecedentes de deficiencias médicas, neurológicas o musculoesqueléticas que puedan afectar las mediciones de fuerza (ii) uso de medicamentos para el dolor o trastornos musculoesqueléticos, (iii) cirugías previas en los miembros y/o la columna vertebral, (iv) participación en deportes competitivos de alto rendimiento durante o en los 6 meses anteriores a las mediciones del estudio, y (v) un índice de masa corporal categorizado como obeso. Este estudio contó con la aprobación del Comité de Ética Centro Sur de la Universidad Santo Tomás para todos sus procedimientos (código n° 22-01; año 2022).

Proceso de medición

Torque muscular isométrico máximo

Todas las mediciones se realizaron en el miembro dominante de los participantes. En el caso del miembro superior, se determinó preguntando a los participantes; qué mano usa para escribir con un lápiz; y para el miembro inferior, qué pie utiliza para golpear un balón. La fuerza isométrica máxima de los flexores del hombro, abductores del hombro, rotadores mediales del hombro, rotadores laterales del hombro, flexores del codo, extensores del codo, flexores de la muñeca, extensores de la muñeca, flexores de cadera, extensores de cadera, abductores de cadera, flexores de rodilla, extensores de rodilla, flexores plantares de tobillo, y flexores dorsales de tobillo, se evaluó con HHD con método de mantención (make) utilizando un dinamómetro manual de mantención calibrado (MMT 01165, Lafayette Manual Muscle Test System, Lafayette, IN, USA). Las posiciones estandarizadas y la localización del dinamómetro manual para cada grupo muscular se aplicaron en base a reportes previos (tabla 1)^{1,2,14,20}. La fuerza isométrica máxima de agarre los músculos extrínsecos-intrínsecos de la mano se evaluó con dinamometría de fuerza de agarre (HGD del inglés Hand Grip Dynamometer) utilizando un dinamómetro manual de agarre calibrado (Jamar 5030J1, Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, IL, USA), de acuerdo con la recomendación de la Sociedad Estadounidense de Terapeutas de la Mano²¹.

Para calcular el torque isométrico máximo (Nm) de cada grupo muscular, la fuerza en Newton (N) se multiplicó por la longitud del brazo de palanca (m) entre el punto de aplicación del dinamómetro y el correspondiente centro articular. Luego, el resultado de cada grupo muscular se dividió por la masa corporal (kg) de cada individuo.

Tabla 1. Protocolo de Dinamometría de Mantenimiento manual (HHD) y dinamometría de fuerza de agarre (HGD). Posiciones estandarizadas y localización del dinamómetro manual para cada grupo muscular

Grupo Muscular	Posición del participante	Posición articular/segmento	Posición HHD o HGD	Medición del Brazo de palanca
Flexores Hombro	Sentado	Pies sobre el suelo. Flexión de hombro 90°, Flexión de codo 90°, y antebrazo supinado	Tercio distal de la superficie anterior del brazo	Proceso coracoides a posición HHD
Abductores Hombro	Sentado	Pies sobre el suelo. Abducción de hombro 90°, flexión de codo 90°, y antebrazo en posición neutra	Tercio distal del brazo, justo sobre el epicóndilo lateral	Acromion a posición HHD
Rotadores Mediales Hombro	Sentado	Pies sobre el suelo. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 90°, y antebrazo en posición neutra	Tercio distal de la superficie posterior del antebrazo, justo proximal a la muñeca	Acromion a posición HHD
Rotadores Laterales Hombro	Sentado	Pies sobre el suelo. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 90°, y antebrazo en posición neutra	Tercio distal de la superficie anterior del antebrazo, justo proximal a la muñeca	Acromion a posición HHD
Flexores Codo	Supino	Sobre una camilla. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 90°, y antebrazo en supinación	Tercio distal de la superficie anterior del antebrazo, justo proximal a la muñeca	Epicóndilo lateral del húmero a posición HHD
Extensores Codo	Supino	Sobre una camilla. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 90°, y antebrazo en supinación	Tercio distal de la superficie posterior del antebrazo, justo proximal a la muñeca	Epicóndilo lateral del húmero a posición HHD
Flexores Muñeca	Supino	Sobre una camilla. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 0°, y antebrazo en supinación. Flexión de muñeca 30° y dedos extendidos	Superficie palmar de la mano, proximal a la articulación metacarpofalángica	Proceso estiloides del radio a posición HHD
Extensores Muñeca	Supino	Sobre una camilla. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 0°, y antebrazo en pronación. Flexión de muñeca 30° y dedos extendidos	Superficie dorsal de la mano, proximal a la articulación metacarpofalángica	Proceso estiloides de la ulna a posición HHD
Fuerza de Agarre de la Mano	Sentado	Pies sobre el suelo. Abducción de hombro 0°, flexión de codo 90°, y antebrazo en posición neutra. Extensión de muñeca 0-30° y desviación ulnar 0-15°.	El mango se ajusta de modo que la línea de las art. interfalángicas proximales descansen exactamente sobre el mango	Art. metacarpofalángica del 3° dedo a art. interfalángica proximal
Flexores Cadera	Supino	Sobre una camilla. Flexión de cadera 90°, flexión de rodilla 90°, y pierna sostenida sobre un cajón.	Tercio distal del muslo, justo en el borde patelar superior	Trocánter mayor del fémur a posición HHD
Extensores Cadera	Supino	Sobre una camilla. Flexión de cadera 90°, flexión de rodilla 90°, y pierna sostenida sobre un cajón.	Tercio distal del muslo, proximal al pliegue poplíteo	Trocánter mayor del fémur a posición HHD
Abductores Cadera	Supino	Sobre una camilla. Flexión de cadera 0°, flexión de rodilla 0°. Muslo contralateral estabilizado con una cincha alrededor del tercio distal	Tercio distal del muslo, en el cóndilo lateral del fémur	Trocánter mayor del fémur a posición HHD
Flexores Rodilla	Sentado	Sobre una silla. Flexión de cadera 90° y flexión de rodilla 90°. Tronco erguido sin apoyo	Tercio distal de la superficie posterior de la pierna, proximal al tobillo	Interlinea articular lateral de la rodilla a posición HHD
Extensores Rodilla	Sentado	Sobre una silla. Flexión de cadera 90° y flexión de rodilla 90°. Tronco erguido sin apoyo	Tercio distal de la superficie anterior de la pierna, proximal al tobillo	Interlinea articular lateral de la rodilla a posición HHD
Flexores Dorsales Tobillo	Supino	Sobre una camilla. Flexión de cadera 0°, flexión de rodilla 0°, y tobillo en posición neutra (0°) al borde de la camilla.	Superficie dorsal del pie, proximal a la articulación metatarsofalángica	Maléolo lateral a posición HHD
Flexores Plantares Tobillo	Supino	Sobre una camilla. Flexión de cadera 0°, flexión de rodilla 0°, y tobillo en posición neutra (0°) al borde de la camilla.	Superficie plantar del pie, proximal a la articulación metatarsofalángica	Maléolo lateral a posición HHD

Fuente: Extraído de protocolo Dinamometría de Mantenimiento manual. HHD: dinamometría de mantenimiento manual, del inglés Hand-Held Dynamometry; HGD: dinamometría de fuerza de agarre, del inglés Hand Grip Dynamometer¹⁴.

Los participantes vistieron ropa deportiva, estuvieron descalzos y todas las medidas se ejecutaron en 1 sesión (1 hora por participante) en un espacio habilitado en el establecimiento escolar. El evaluador mantuvo el dinamómetro estacionario mientras el participante ejercía la máxima fuerza contra este^{7,22-24}. Para todas las evaluaciones, se pidió a los participantes que realicen la máxima fuerza contra el dinamómetro (HHD o HGD, según corresponda), mientras que el evaluador alentó a los participantes con una frase estandarizada “más fuerte, más fuerte, más fuerte”.

Para todos los grupos musculares, se realizó un intento de calentamiento, luego, se ejecutaron 3 intentos y se registró la fuerza máxima (N) para cada uno, donde el valor más alto alcanzado fue considerado para el análisis estadístico. Cada intento (contracción), se mantuvo durante 3 segundos seguido de un período de descanso de 30 segundos para minimizar los efectos de la fatiga.

Madurez

La madurez fue valorada en función de la compensación de madurez. Esta se determina como el número de años desde la velocidad máxima de estatura (PHV; del inglés Peak Height Velocity), al restar la edad del PHV, de la edad cronológica en cada medición¹⁸. La PHV es expresada en años cronológicos y es considerada como un punto de referencia (benchmark) de madurez, y no corresponde a más, que el período de tiempo en el que un adolescente experimenta el crecimiento ascendente más rápido en su estatura^{18,19}. Para esto, la altura de pie y la altura sentado se midieron al mm más cercano, y también la masa corporal al 0,1 kg. más cercano. Se tomaron dos medidas para cada variable antropométrica.

Evaluación de confiabilidad

Periodo de Inducción: La capacitación fue proporcionada por un autor de este artículo (GMR), a dos evaluadores (EA y EB) seguida de al menos 16 horas de práctica, en todos los procedimientos de HHD. Ambos evaluadores fueron kinesiólogos especialistas en el área de la rehabilitación musculoesquelética, los que contaban con 10 años de experiencia profesional.

La evaluación de la confiabilidad inter-evaluador se determinó mediante las mediciones realizadas por dos evaluadores (EA y EB), con un intervalo de 20 minutos entre mediciones para evitar fatiga. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos evaluadores, utilizando un método de aleatorización simple, con sobres oscuros. Las mediciones EA y EB fueron tomadas en el segundo día de evaluación del participante¹⁴.

La confiabilidad intra-evaluador se determinó mediante las mediciones de un sólo evaluador (EA) en

dos días diferentes (evaluación EA1 y evaluación EA2), con un intervalo entre 7 y 14 días entre las dos evaluaciones, para evitar el efecto aprendizaje de la primera evaluación¹⁴.

Análisis Estadístico

Para todos los análisis se utilizó el software SPSS versión 25.0. Se calculó la mediana y rango intercuartílico del torque muscular isométrico para los grupos musculares de los miembros superior e inferior, agrupados por edad y sexo. La confiabilidad inter-evaluador (mediciones EA y EB) e intra-evaluador (mediciones EA1 y EA2) fueron analizadas mediante el ICC (coeficiente de correlación intraclase ICC) con un intervalo de confianza del 95% en la muestra total de participantes (de 7 a 15 años). Todas las evaluaciones de confiabilidad fueron realizadas mediante un modelo de efectos aleatorios de 2-vías, acuerdo absoluto, y medición promedio²⁵. La siguiente interpretación del ICC fue utilizada: < 0,5, pobre confiabilidad; 0,51 a 0,75, moderada confiabilidad; 0,76 a 0,90, buena confiabilidad; y > 0,90, excelente confiabilidad²⁶. Para determinar el error de medición a través de las mediciones del evaluador EA (es decir, EA1 y EA2) se utilizó el error estándar de medición (ESM) y el cambio mínimo detectable (CMD) [27]. Para esto, la fórmula utilizada fue: $CMD = 1,96 * ESM * \sqrt{2}$. Donde: CMD es el Cambio Mínimo Detectable. Es la cantidad mínima de cambio en la puntuación de un instrumento que debe ocurrir en un individuo para estar seguro de que el cambio en la puntuación no es simplemente atribuible a un error de medición; ESM es el Error Estándar de Medición. Es una medida de cuánto se espera que varíen las puntuaciones observadas debido al error de medición; 1.96 es el valor Z para un intervalo de confianza del 95%; y $\sqrt{2}$ es la raíz cuadrada de 2. Este término se utiliza porque se considera la variabilidad en dos mediciones (es decir, la medición inicial y la medición de seguimiento).

Posteriormente se realizaron mediciones de confiabilidad y error inter-observador e intra-observador, en las submuestras agrupadas por compensación de madurez, lo que resultó en dos grupos de madurez distintos: grupo pre-PHV (compensación de madurez offset < -1) y grupo circa/post PHV (compensación de madurez offset > -0,5). Los participantes con una compensación de madurez entre -1 a -0,5 años fueron eliminados del estudio debido al error en la ecuación de predicción de aproximadamente 6 meses²⁸.

Adicionalmente, se evaluó la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador del torque muscular isométrico mediante un diagrama de dispersión de dos estimaciones basadas en el método de Bland-Altman con un intervalo de confianza del 95% de los límites de concordancia.

Resultados

Setenta y dos participantes (mujeres, $n = 36$; hombres, $n = 36$) fueron incluidos en el análisis. En relación al protocolo de evaluación, no fue necesario adaptar las instrucciones dadas, las posiciones o el número de intentos de prueba para un grupo muscular específico según la edad de los participantes. Tampoco hubo informes de dolor o incomodidad durante los procedimientos.

La tabla 2 muestra los resultados del análisis de confiabilidad inter e intra-evaluador, ESM y CMD para cada grupo muscular en una muestra de los participantes. En general, los resultados demostraron una buena a excelente confiabilidad inter (ICC = 0,85-0,98) e intra-evaluador (ICC = 0,87-0,98) para las evaluaciones de torque isométrico en todos los grupos musculares. Además, el ESM fue bajo (0,18-2,10 Nm) y el CMD varió de 0,50 a 5,82 Nm. Dos grupos musculares, extensores de cadera y abductores de cadera, revelaron una buena confiabilidad inter-evaluador (ICC = 0,85 y ICC = 0,88, respectivamente); y un grupo muscular, dorsiflexores de tobillo, solamente mostró una buena confiabilidad intra-evaluador (ICC = 0,87).

La tabla 3 muestra los resultados de la confiabilidad inter e intra-evaluador, ESM y CMD para cada músculo en los grupos pre-PHV y circa/post-PHV. Cuando se realizó esta separación de la muestra según la madurez, los participantes en el grupo circa/post-PHV revelaron una disminución en la confiabilidad inter (ICC = 0,79) e intra-evaluador (ICC = 0,88) en los extensores de cadera. Además, el ICC presentó un límite inferior del 95% CI de 0,65 y 0,75, respectivamente, obteniendo una categorización como confiabilidad moderada. Del mismo modo, el ESM (3,04 Nm) y el CMD (8,43 Nm) aumentaron en los extensores de cadera. También se observó una menor confiabilidad intra-evaluador en los grupos musculares flexores de muñeca (ICC = 0,86) y dorsiflexores de tobillo (ICC = 0,77) con un límite inferior del 95% CI de 0,65 y 0,75, respectivamente.

En las tablas suplementarias 1, 2 y 3 (disponibles en *versión online*) se muestran el número total de participantes, la masa corporal, la altura, el índice de masa corporal (IMC), compensación de madurez (PHV), y los torques isométricos máximos de los músculos de miembro superior e inferior agrupados por edad y género.

Tabla 2. Análisis de confiabilidad inter e intra-evaluador, error estándar de medición y cambio mínimo detectable, para técnica de evaluación de Torque muscular isométrico en cada grupo muscular de los participantes (n = 72)

Grupo muscular	Confiabilidad			
	Inter-evaluador	Intra-evaluador	Error*	
	ICC (95% CI)	ICC (95% CI)	ESM	CMD
Flexores de hombro	0,98 (0,98-0,99)	0,98 (0,97-0,99)	0,91	2,52
Abductores de hombro	0,98 (0,97-0,99)	0,96 (0,94-0,97)	0,78	2,16
Rotadores mediales de hombro	0,98 (0,97-0,99)	0,98 (0,96-0,98)	1,08	2,99
Rotadores Laterales de hombro	0,97 (0,96-0,98)	0,97 (0,96-0,98)	0,83	2,30
Flexores de codo	0,97 (0,96-0,98)	0,97 (0,95-0,98)	0,99	2,74
Extensores de codo	0,97 (0,96-0,98)	0,98 (0,97-0,99)	0,78	2,16
Flexores de muñeca	0,96 (0,94-0,98)	0,95 (0,92-0,97)	0,19	0,53
Extensores de muñeca	0,95 (0,92-0,97)	0,97 (0,96-0,98)	0,18	0,50
Fuerza de agarre de la mano	0,97 (0,97-0,99)	0,97 (0,96-0,98)	0,41	1,14
Flexores de cadera	0,98 (0,96-0,98)	0,98 (0,96-0,98)	1,41	3,91
Extensores de cadera	0,85 (0,82-0,88)	0,91 (0,88-0,93)	2,10	5,82
Abductores de cadera	0,88 (0,85-0,91)	0,95 (0,93-0,97)	0,78	2,16
Flexores de rodilla	0,98 (0,96-0,98)	0,98 (0,97-0,99)	1,67	4,63
Extensores de rodilla	0,97 (0,95-0,98)	0,97 (0,96-0,98)	1,87	5,18
Dorsiflexores de tobillo	0,91 (0,84-0,95)	0,87 (0,77-0,92)	0,36	1,00
Flexores plantares	0,94 (0,91-0,97)	0,96 (0,95-0,98)	0,63	1,75

Coefficiente de correlación intraclassa ICC, modelo de efectos aleatorios de 2 vías, concordancia absoluta y medidas medias; IC: intervalo de confianza; ESM, error estándar de medición; CMD, cambio mínimo detectable. *El error de medición se estimó con las mediciones del evaluador A (es decir, EA1 y EA2) utilizando el error estándar de medición y el cambio mínimo detectable en newton-metro (Nm).

Tabla 3. Confiabilidad inter e intra evaluador para mediciones con dinamometría de mantención manual, en el grupo pre-PHV (velocidad máxima de estatura) y en el grupo circa/post PHV

Grupo muscular	Confiabilidad grupo pre PHV				Confiabilidad grupo circa/post PHV			
	Inter-evaluador		Intra-evaluador		Error*		Error*	
	ICC (95% IC)	ICC (95% IC)	ESM	CMD	ICC (95% IC)	ICC (95% IC)	ESM	CMD
Flexores de hombro	0,97 (0,94-0,98)	0,97 (0,95-0,98)	0,64	1,77	0,98 (0,96-0,99)	0,97 (0,94-0,98)	1,46	4,05
Abductores de hombro	0,98 (0,96-0,99)	0,97 (0,94-0,98)	0,70	1,94	0,96 (0,93-0,98)	0,94 (0,86-0,97)	1,19	3,30
Rotadores mediales de hombro	0,98 (0,96-0,99)	0,98 (0,97-0,99)	0,98	2,72	0,97 (0,95-0,98)	0,96 (0,92-0,98)	1,71	4,74
Rotadores laterales de hombro	0,97 (0,94-0,98)	0,95 (0,90-0,97)	0,67	1,86	0,93 (0,87-0,97)	0,95 (0,91-0,97)	1,14	3,16
Flexores de codo	0,95 (0,91-0,97)	0,96 (0,92-0,98)	0,95	2,63	0,95 (0,91-0,98)	0,95 (0,89-0,97)	1,35	3,74
Extensores de codo	0,97 (0,94-0,98)	0,97 (0,94-0,98)	0,78	2,16	0,95 (0,90-0,97)	0,97 (0,94-0,98)	1,04	2,88
Flexores de muñeca	0,92 (0,85-0,96)	0,95 (0,91-0,97)	0,14	0,39	0,92 (0,83-0,96)	0,86 (0,71-0,93)	0,26	0,72
Extensores de muñeca	0,92 (0,85-0,96)	0,94 (0,88-0,97)	0,15	0,42	0,92 (0,85-0,96)	0,96 (0,93-0,98)	0,29	0,80
Músculos fuerza de agarre*	0,96 (0,93-0,98)	0,91 (0,83-0,95)	0,28	0,78	0,98 (0,96-0,99)	0,97 (0,95-0,98)	0,79	2,19
Flexores de cadera	0,98 (0,96-0,99)	0,98 (0,95-0,99)	1,53	4,24	0,93 (0,85-0,96)	0,94 (0,87-0,97)	1,65	4,57
Extensores de cadera	0,98 (0,97-0,99)	0,99 (0,98-0,99)	2,37	6,57	0,79 (0,65-0,85)	0,88 (0,75-0,94)	3,04	8,43
Abductores de cadera	0,96 (0,93-0,98)	0,94 (0,89-0,97)	1,99	5,52	0,94 (0,88-0,97)	0,93 (0,86-0,97)	2,77	7,68
Flexores de rodilla	0,97 (0,95-0,98)	0,98 (0,97-0,99)	1,71	4,74	0,96 (0,92-0,98)	0,96 (0,93-0,98)	2,35	6,51
Extensores de rodilla	0,95 (0,91-0,97)	0,98 (0,96-0,99)	2,03	5,63	0,94 (0,88-0,97)	0,95 (0,89-0,97)	2,52	6,99
Dorsiflexores de tobillo	0,95 (0,90-0,97)	0,96 (0,92-0,98)	0,39	1,08	0,91 (0,83-0,96)	0,77 (0,53-0,89)	0,44	1,22
Flexores plantares	0,97 (0,95-0,98)	0,97 (0,95-0,98)	0,62	1,72	0,96 (0,91-0,98)	0,90 (0,80-0,95)	0,75	2,08

Evaluación en Grupos pre-post PHV (del inglés Peak Height Velocity); ICC. Coeficiente de correlación intraclase, modelo de efectos aleatorios de 2 vías, concordancia absoluta y medidas promedios; IC: intervalo de confianza; ESM: error estándar de medición; CMD, cambio mínimo detectable. *El error de medición se estimó con las mediciones del evaluador A (es decir, EA1 y EA2) utilizando el error estándar de medición y el cambio mínimo detectable en newton-metro (Nm).

Las figuras 1 y 2 muestran los gráficos de Bland-Altman para la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador del torque muscular isométrico de los distintos grupos musculares. De estos gráficos, se observa que el 100% presentó al menos un 95,8% de concordancia inter-evaluador (sesgo entre -0,16 y 1,72 Nm) e intra-evaluador (sesgo entre -0,68 y 2,32 Nm).

Discusión

En esta investigación estudiamos la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador de un protocolo de dinamometría de mantención manual para obtener el torque isométrico máximo para varios grupos musculares en población pediátrica. En general, los resultados demostraron una buena a excelente confiabilidad inter e intra-evaluador para las evaluaciones de torque isométrico mediante la técnica de mantención (make), sólo dos grupos musculares, extensores y abductores de cadera, revelaron una buena confiabilidad inter-evaluador; y uno, los dorsiflexores de tobillo, mostraron una buena confiabilidad intra-evaluador. Los resultados del presente estudio corroboran los

observados en poblaciones de diversas latitudes (e.g., Brasil, Canadá, Europa Occidental), donde se ha recomendado el uso del método make para obtener valores de referencia de fuerza isométrica máxima, mostrando una alta confiabilidad y validez para la evaluación de la fuerza muscular de la mayoría de los grupos musculares clínicamente significativos^{1,2,16}. De hecho, la técnica de dinamometría de mantención manual ha presentado una validez concurrente razonable (0,52) a excelente (0,86) con la dinamometría isocinética (Cybex) para gran mayoría de grupos musculares de miembros superiores e inferiores¹⁴. De la misma forma, que datos de confiabilidad intraevaluador (ICC = 0,67 a 0,99) e inter evaluador (ICC = 0,67 a 0,96), reportado en diversas poblaciones del mundo^{14,29-32}.

En nuestro estudio, los datos del torque muscular isométrico fueron obtenidos en 15 grupos musculares de los participantes. Estos grupos fueron seleccionados debido a que son los principales músculos evaluados y tratados en la rehabilitación del sistema locomotor infantil, pudiendo asociarse, su alteración, con dificultades en actividades funcionales como la velocidad de locomoción y de la vida diaria^{3,29,33}.

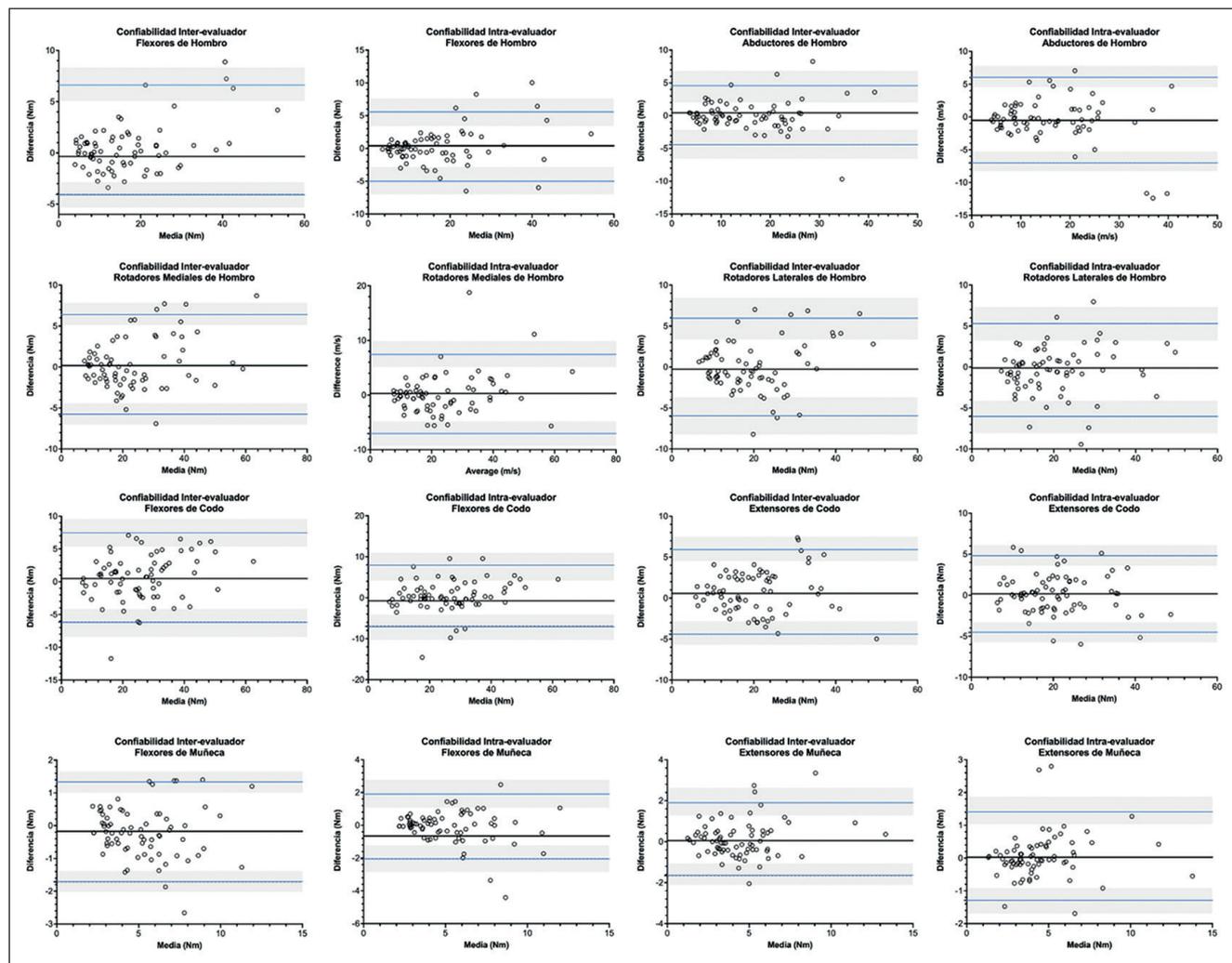


Figura 1. Gráficos de Bland-Altman para la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador del torque muscular isométrico de los grupos musculares del miembro superior. Se observa al menos un 95,8% de concordancia inter-evaluador (sesgo entre $-0,16$ y $1,72$ Nm) e intra-evaluador (sesgo entre $-0,68$ y $2,32$ Nm).

También, se consideró la madurez en los participantes, donde el grupo circa/post-PHV reveló una disminución en la confiabilidad inter (ICC = 0,79) e intra-evaluador (ICC = 0,88) en los extensores de cadera, obteniendo una categorización de confiabilidad moderada. Esto se podría explicar por las características de este grupo muscular y la velocidad de crecimiento de los participantes, situación que puede influir en los resultados del torque muscular, ya que este presenta una estrecha relación con el desarrollo musculoesquelético debido a que el cambio de las distancias desde el centro de la articulación depende de la longitud de la extremidad de los niños que se encuentran en desarrollo, como también del tamaño y composición muscular^{11,34}. En relación con los músculos de cadera, específicamente extensores, los resultados si bien se mantienen en una buena correlación inter evaluador, algunos estudios han

mencionado que pueden existir diferencias en los resultados en su rendimiento, los que pueden verse influenciados por la capacidad de producir fuerza del evaluador para contrarrestar la capacidad del evaluado, aunque de igual manera avalan el uso de la técnica HHD en músculos de cadera y codo, por ser una técnica con menor riesgo de generar lesiones musculoesqueléticas^{23,24}.

Por otra parte, también se observó una menor confiabilidad intra-evaluador en los grupos musculares flexores de muñeca (ICC = 0,86) y dorsiflexores de tobillo (ICC = 0,77), de los participantes del grupo circa/post-PHV, esto se podría explicar también por diferentes motivos, ya que el rendimiento muscular, además de depender del tamaño y proporción corporal, se asocia con factores como edad, el sexo, la maduración sexual, el nivel de actividad física, la altura, el índice de masa corporal y el dominio de las extremidades, situa-

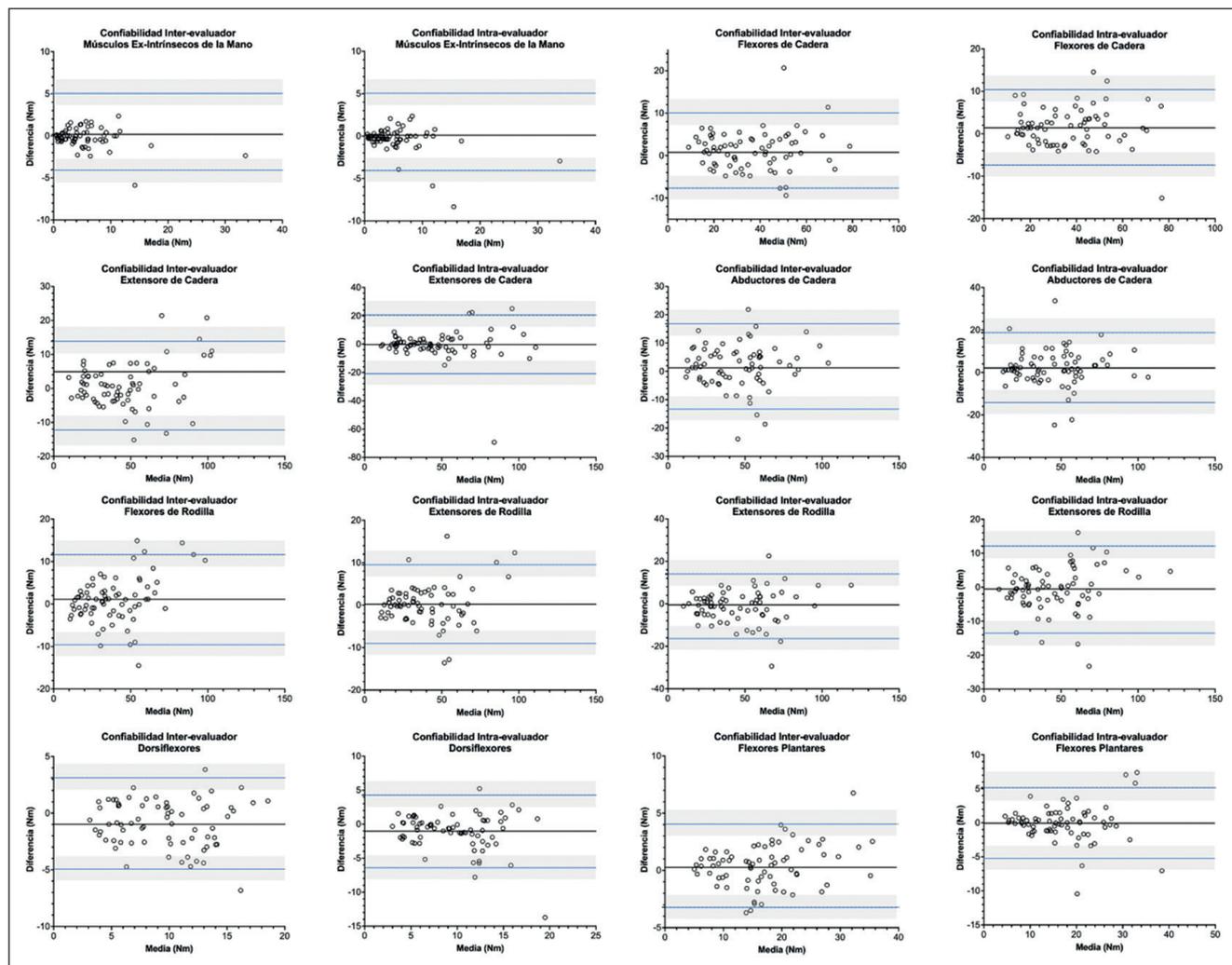


Figura 2. Gráficos de Bland-Altman para la confiabilidad intra-evaluador e inter-evaluador del torque muscular isométrico de los grupos musculares de mano y del miembro inferior. Se observa al menos un 95,8% de concordancia inter-evaluador (sesgo entre -0,16 y 1,72 Nm) e intra-evaluador (sesgo entre -0,68 y 2,32 Nm).

ción que tiende a la diferenciación entre sujetos mayores de 10 años y con mayor notoriedad inclusive a los 14-15 años³⁵. Aun así, la confiabilidad obtenida en este estudio es similar a los datos obtenidos de otros estudios, donde la HHD es confiable en niños y adultos de diferentes grupos de edad, estado de salud, enfermedad y/o comorbilidades^{14,17,35}.

Por otra parte, algunos resultados obtenidos en el torque isométrico máximo por los participantes, a nivel de los músculos extensores de muñeca, intrínsecos-extrínsecos de la mano, y también en extensores de cadera, llamaron nuestra atención debido a que disminuyeron sus valores entre los 13 a 14 años, creemos que estos resultados pueden deberse a los cambios relacionados a la velocidad de crecimiento, donde en estudios previos se ha observado que adolescentes mayores a 11 años muestran una progresión general de la fuerza en

adelante, siendo los niños ligeramente más fuertes que las niñas, sin embargo, los grupos de 11,5 a 12,9 años muestran cambios más abruptos de fuerza, siendo este, un período umbral en comparación con otros períodos posteriores¹⁴. En relación al protocolo de la técnica de HHD, diversos errores nombrados en la literatura, expresan que sus resultados pueden verse afectados ya sea, por la falta de calibración correcta del dispositivo, la falta de agudeza visual en el operador, descuidos, cansancio, o excesiva fuerza al realizar las mediciones, errores que pueden minimizarse con un protocolo bien definido¹⁰, es por esto que la confiabilidad obtenida en los resultados de este estudio, con bajos valores de error de medida (ESM y CMD) nos permite determinar que es probable que se haya minimizado el error debido a la estandarización de la técnica y capacitación de los evaluadores.

Respecto de limitaciones del estudio, las niñas, niños y adolescentes fueron reclutados a través de un método de muestreo por conveniencia y solo en Talca; por lo que, en el futuro, se debería investigar la influencia de otros factores como, tipos de establecimientos, nivel socioeconómico, o factores regionales en la fuerza muscular de población pediátrica. Entre las fortalezas, el uso de un protocolo bien definido y evaluadores capacitados, lo cual se refleja en la confiabilidad alta obtenida y los bajos valores de error informados.

Cada día se hace más necesario contar con instrumentos válidos y confiables para realizar mediciones en clínica, así como para conducir a futuros estudios, la técnica de HHD (con método de mantención) y HGD, utilizan instrumentos de menor costo y además, es de fácil aplicación y reproducible, con un bajo riesgo de efectos no deseados como dolor o incomodidad, por ello que consideramos que en el futuro, se debe avanzar en el desarrollo de una base de datos normativos en niños, niñas y adolescentes de las distintas regiones de Chile con esta técnica y evaluar si hay más variabilidad o influencia de otros factores.

Como conclusiones, la evaluación mediante HHD del torque muscular isométrico máximo en niñas, niños y adolescentes chilenos presenta una buena a excelente confiabilidad inter e intra-observador. Esto la convierte en un procedimiento de evaluación en rehabilitación, aplicable en diversas condiciones y etapas de crecimiento. Los profesionales del ámbito pediátrico pueden utilizarla con confianza en su práctica clínica.

Responsabilidades Éticas

Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos: Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado: Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por el Concurso Interno de Proyectos de Investigación 2021-2022 (código 11500032) de la Dirección General de Investigación e Innovación Aplicada (DGAi) de la Universidad Santo Tomás, Chile.

Referencias

- Hébert LJ, Maltais DB, Lepage C, Saulnier J, Crête M. Hand-Held Dynamometry Isometric Torque Reference Values for Children and Adolescents. *Pediatr Phys Ther.* 2015;27:414-23. doi: 10.1097/PEP.000000000000179
- Daloia LMT, Leonardi-Figueiredo MM, Martinez EZ, Mattiello-Sverzut AC. Isometric muscle strength in children and adolescents using Handheld dynamometry: reliability and normative data for the Brazilian population. *Braz J Phys Ther.* 2018;22:474-83. doi: 10.1016/j.bjpt.2018.04.006
- Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2015;45:1671-92. doi: 10.1007/s40279-015-0390-z
- Landry BW, Driscoll SW. Physical activity in children and adolescents. *PM R.* 2012;4:826-32. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.09.585
- Peterson MD, Zhang P, Saltarelli WA, Visich PS, Gordon PM. Low Muscle Strength Thresholds for the Detection of Cardiometabolic Risk in Adolescents. *Am J Prev Med.* 2016;50:593-9. doi: 10.1016/j.amepre.2015.09.019
- Delezie J, Handschin C. Endocrine Crosstalk Between Skeletal Muscle and the Brain. *Front Neurol.* 2018;9:698. doi: 10.3389/fneur.2018.00698
- Jones, Stratton G. Muscle function assessment in children. *Acta Paediatr.* 2000;89:753-61. doi: 10.1111/j.1651-2227.2000.tb18258.x
- Bohannon RW. Literature reporting normative data for muscle strength measured by hand-held dynamometry: A systematic review. *Isokinet Exerc Sci.* 2011;19:143-7. doi: 10.3233/IES-2011-0415
- Bohannon RW. Manual muscle testing: does it meet the standards of an adequate screening test? *Clin Rehabil.* 2005;19:662-7. doi: 10.1191/0269215505cr873oa
- Mendez-Rebolledo G, Ruiz-Gutierrez A, Salas-Villar S, Guzman-Muñoz E, Sazo-Rodriguez S, Urbina-Santibáñez E. Isometric strength of upper limb muscles in youth using hand-held and hand-grip dynamometry. *J Exerc Rehabil.* 2022;18:203-13. doi: 10.12965/jer.2244198.099
- Garcia MAC, Souza VH. The (un) standardized use of handheld dynamometers on the evaluation of muscle force output. *Braz J Phys Ther.* 2020;24:88-9. doi: 10.1016/j.bjpt.2019.10.004
- Gillen ZM, Shoemaker ME, Bohannon NA, Gibson SM, Cramer JT. Comparing the torque- and power-velocity relationships between children and adolescents during isokinetic leg extension muscle actions. *Hum Mov Sci.* 2020;74:102678. doi: 10.1016/j.humov.2020.102678
- Morin M, Hébert LJ, Perron M,

- Petitclerc É, Lake S-R, Duchesne E. Psychometric properties of a standardized protocol of muscle strength assessment by hand-held dynamometry in healthy adults: a reliability study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24:294. doi: 10.1186/s12891-023-06400-2
14. Hébert LJ, Maltais DB, Lepage C, Saulnier J, Crête M, Perron M. Isometric muscle strength in youth assessed by hand-held dynamometry: a feasibility, reliability, and validity study. *Pediatr Phys Ther.* 2011;23:289-99. doi: 10.1097/PEP.0b013e318227ccff
 15. Eek MN, Kroksmark A-K, Beckung E. Isometric muscle torque in children 5 to 15 years of age: normative data. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87: 1091-9. doi: 10.1016/j.apmr.2006.05.012
 16. Schrama PPM, Stenneberg MS, Lucas C, van Trijffel E. Intraexaminer reliability of hand-held dynamometry in the upper extremity: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95: 2444-69. doi: 10.1016/j.apmr.2014.05.019
 17. Fieseler G, Molitor T, Irlenbusch L, Delank K-S, Laudner KG, Hermassi S, et al. Intrarater reliability of goniometry and hand-held dynamometry for shoulder and elbow examinations in female team handball athletes and asymptomatic volunteers. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135: 1719-26. doi: 10.1007/s00402-015-2331-6
 18. Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:689-94. doi: 10.1097/00005768-200204000-00020
 19. Boeyer ME, Middleton KM, Duren DL, Leary EV. Estimating peak height velocity in individuals: a comparison of statistical methods. *Ann Hum Biol.* 2020;47:434-45. doi: 10.1080/03014460.2020.1763458
 20. Escobar RG, Munoz KT, Dominguez A, Banados P, Bravo MJ. Maximal isometric muscle strength values obtained by hand-held dynamometry in children between 6 and 15 years of age. *Muscle Nerve.* 2017;55:16-22. doi: 10.1002/mus.25180
 21. Hepping AM, Ploegmakers JJW, Geertzen JHB, Bulstra SK, Stevens M. The Influence of Hand Preference on Grip Strength in Children and Adolescents; A Cross-Sectional Study of 2284 Children and Adolescents. *PLoS One.* 2015;10: e0143476. doi: 10.1371/journal.pone.0143476
 22. Bohannon RW. Make tests and break tests of elbow flexor muscle strength. *Phys Ther.* 1988;68:193-4. doi: 10.1093/ptj/68.2.193
 23. Schmidt J, Iverson J, Brown S, Thompson PA. Comparative reliability of the make and break tests for hip abduction assessment. *Physiother Theory Pract.* 2013;29:648-57. doi: 10.3109/09593985.2013.782518
 24. Stratford PW, Balsor BE. A comparison of make and break tests using a hand-held dynamometer and the Kin-Com. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;19:28-32. doi: 10.2519/jospt.1994.19.1.28
 25. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull.* 1979;86:420-8. doi: 10.1037//0033-2909.86.2.420
 26. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15:155-63. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
 27. Kozielec SM, Malina RM. Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sports Med.* 2018;48:221-36. doi: 10.1007/s40279-017-0750-y
 28. Malina RM, Kozielec SM, Králik M, Chrzanoswska M, Suder A. Prediction of maturity offset and age at peak height velocity in a longitudinal series of boys and girls. *Am J Hum Biol.* 2021;33:e23551. doi: 10.1002/ajhb.23551
 29. Dallmeijer AJ, Rameckers EA, Houdijk H, de Groot S, Scholtes VA, Becher JG. Isometric muscle strength and mobility capacity in children with cerebral palsy. *Disabil Rehabil.* 2017;39:135-42. doi: 10.3109/09638288.2015.1095950
 30. Ferland C, Lepage C, Moffet H, Maltais DB. Relationships between lower limb muscle strength and locomotor capacity in children and adolescents with cerebral palsy who walk independently. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2012;32:320-32. doi: 10.3109/01942638.2011.631102
 31. Romero-Franco N, Fernández-Domínguez JC, Montaña-Munuera JA, Romero-Franco J, Jiménez-Reyes P. Validity and reliability of a low-cost dynamometer to assess maximal isometric strength of upper limb. *J Sports Sci.* 2019;37:1787-93. doi: 10.1080/02640414.2019.1594570
 32. Macfarlane TS, Larson CA, Stiller C. Lower extremity muscle strength in 6- to 8-year-old children using hand-held dynamometry. *Pediatr Phys Ther.* 2008;20:128-36. doi: 10.1097/PEP.0b013e318172432d
 33. Mendez-Rebolledo G, Guzman-Muñoz E, Valdés-Badilla P, et al. Influence of lower limb muscle isometric strength and cardiovascular parameters on locomotor capacity in children and adolescents. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2023;36(6):1435-46. doi: 10.3233/BMR-230049
 34. Gillen ZM, Shoemaker ME, McKay BD, Bohannon NA, Gibson SM, Cramer JT. Muscle strength, size, and neuromuscular function before and during adolescence. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119:1619-32. doi: 10.1007/s00421-019-04151-4
 35. Thorborg K, Bandholm T, Schick M, Jensen J, Hölmich P. Hip strength assessment using handheld dynamometry is subject to intertester bias when testers are of different sex and strength. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23:487-93. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01405.x