Rev Esp Cardiol. 2011;64(8):674–680

Artículo original

Determinación de valores normalizados del desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo (TAPSE) en 405 niños y adolescentes españoles

Iván J. Núñez-Gil[a,b,*], María Dolores Rubio[c], Antonio J. Cartón[c], Pedro López-Romero[d], Lucía Deiros[c], Luis García-Guereta[c], Carlos Labrandero[c] y Federico Gutiérrez-Larraya[c]

[a] *Unidad Coronaria, Instituto Cardiovascular, Hospital Clínico San Carlos, Madrid, España*
[b] *Cardiología Regenerativa, Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, CNIC, Madrid, España*
[c] *Laboratorio de Ecocardiografía, Cardiología Pediátrica, Hospital Universitario La Paz, Madrid, España*
[d] *Epidemiología, Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, CNIC, Madrid, España*

Historia del artículo:
Recibido el 31 de octubre de 2010
Aceptado el 12 de abril de 2011
On-line el 18 de junio de 2011

Palabras clave:
Ecocardiograma
Función ventricular
Niños
Desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo
Z-score
Valores normales
Ventrículo derecho

RESUMEN

Introducción y objetivos: El desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo (siglas en inglés, TAPSE) es una medida ecocardiográfica que permite evaluar adecuadamente la función sistólica del ventrículo derecho y se emplea habitualmente en adultos. No obstante, hay poca información sobre los valores de referencia de TAPSE en niños. Nuestro objetivo fue determinar valores de referencia de TAPSE en niños españoles y evaluar su relación con la edad y la superficie corporal.

Métodos: Incluimos prospectivamente a 405 sujetos (neonatos hasta 18 años, el 53% varones) remitidos para evaluación de soplo cardiaco. Excluimos a los sujetos con cardiopatía o cualquier otra enfermedad. Recogimos la medida por modo M de TAPSE y variables antropométricas. Analizamos la reproducibilidad intraobservador e interobservadores de las mediciones.

Resultados: El TAPSE medio fue 17,09 ± 5,09 cm, sin diferencias significativas entre sexos. Se demostró adecuado un modelo de regresión curvilínea, con valores incrementales proporcionales a los estratos de edad, talla, peso, índice de masa corporal y superficie corporal. La superficie corporal presentó una importante correlación positiva con los valores de TAPSE (r = 0,81), mientras que la frecuencia mantuvo una correlación negativa (r = −0,74). El análisis multivariable confirmó estas correlaciones, así como las interacciones entre variables (edad, talla, peso, superficie corporal). Aportamos gráficas con las estimaciones poblacionales normales para TAPSE ajustadas por edad y superficie corporal.

Conclusiones: Presentamos valores de referencia de TAPSE para población pediátrica española. La medida del TAPSE fue reproducible y se relacionó directamente con la edad y la superficie corporal. Estos valores de referencia podrían guiar la toma clínica de decisiones.
© 2011 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Determination of Normalized Values of the Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (TAPSE) in 405 Spanish Children and Adolescents

Keywords:
Echocardiogram
Ventricular function
Children
Tricuspid annular plane systolic excursion
Z-score
Normal values
Right ventricle

ABSTRACT

Introduction and objectives: Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) is an echocardiographic measure that allows us to assess right ventricular systolic function. TAPSE measurement is common in adults but reference values for children are scarce. Our objective was to establish reference values for TAPSE in Spanish children and to determine the relationship of these values with age and body surface.

Methods: This prospective study included 405 patients (from newborn to age 18 years, 53% male) referred for assessment of cardiac murmurs. Patients with confirmed cardiac or any other disease were excluded. We collected TAPSE measurements by M-mode echocardiography and recorded anthropometric variables. We analyzed the intra- and interobserver reproducibility of these measurements.

Results: Mean TAPSE values were 17.09 ± 5.09 cm with nonsignificant differences between sexes. A curvilinear regression model proved appropriate, with values increasing in proportion to age group, height, weight, body mass index, and body surface. Body surface showed a strong positive correlation with TAPSE values (r = 0.81), whereas frequency had a negative correlation (r = –0.74). Multivariate analysis confirmed these correlations and the interactions between variables (age, height, weight, body surface). Graphs of estimated normal population-based TAPSE values adjusted by age and body surface are provided.

Conclusions: We present reference values for TAPSE in Spanish children and adolescents. The TAPSE measurement was reproducible and associated directly with age and body surface. These reference values could guide decision making in daily clinical practice.

Full English text available from: www.revespcardiol.org
© 2011 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

* Autor para correspondencia: Unidad Coronaria, Instituto Cardiovascular, Hospital Clínico San Carlos, Avda. Profesor Martín Lagos s/n, 28040 Madrid, España.
Correo electrónico: ibnsky@yahoo.es (I.J. Núñez-Gil).

0300-8932/$ – see front matter © 2011 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.
doi:10.1016/j.recesp.2011.04.006

Abreviaturas

FC: frecuencia cardiaca
SC: superficie corporal
TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo
VD: ventrículo derecho

INTRODUCCIÓN

La compleja geometría del ventrículo derecho (VD) dificulta la evaluación de su función sistólica. Las trabeculaciones gruesas en la superficie endocárdica y un tracto de salida elongado y muscular, situado en plano distinto que el tracto de entrada, impiden asumir modelos volumétricos teóricos que sí se pueden emplear en el ventrículo izquierdo[1–5]. La complejidad geométrica del VD, además, aumenta en cardiopatías congénitas, en las que el VD puede haber sido intervenido[6]. La situación funcional del VD puede marcar el manejo terapéutico y la evolución en determinadas anomalías congénitas[7]. En la práctica clínica, parece necesario disponer de una medida que evalúe de forma fiable, accesible y reproducible la función sistólica del VD[8,9].

En ecocardiografía en modo M, el desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo (*tricuspid annulus plane systolic excursion* [TAPSE]) mide la variación durante el ciclo cardiaco de la situación de la porción lateral del anillo de la válvula tricúspide, visualizada en la proyección apical de cuatro cámaras. El TAPSE es un parámetro ecocardiográfico que estima adecuadamente la función sistólica del VD y se ha correlacionado bien con otras técnicas de referencia, como la resonancia magnética cardiaca[10]. Hay recomendaciones para la evaluación ecocardiográfica del VD y valores de TAPSE disponibles en población adulta[11,12]. Sobre la población pediátrica, también se ha publicado aisladamente algún trabajo pionero de establecimiento de valores de referencia[13]. En nuestro medio, en cambio, no disponemos de valores de referencia de TAPSE adecuados.

Nuestro trabajo tuvo como objetivo establecer los valores basales de TAPSE en una muestra española pediátrica y determinar la influencia de variables antropométricas en dichos valores.

MÉTODOS

Población

Desde el 1 de enero de 2008 hasta el 30 de junio de 2010, incluimos de forma prospectiva a 405 sujetos pediátricos (desde el periodo neonatal hasta los 18 años de edad) de ambos sexos, que habían sido remitidos a un servicio de cardiología pediátrica de un hospital terciario para estudio de soplo cardiaco. No incluimos a pacientes con otros síntomas (disnea o equivalente en la infancia, dolor torácico, palpitaciones, etc.), pacientes diagnosticados de cualquier síndrome (p. ej., trisomía 21, monosomía 45) o pacientes con algún otro diagnóstico no cardiovascular. Descartamos por medio de la historia clínica la presencia de cualquier enfermedad no cardiovascular en el momento de la evaluación. Excluimos también a los pacientes con diagnóstico final de cardiopatía estructural o arritmia cardiaca en la consulta.

Ecocardiografía

Realizamos un estudio ecocardiográfico transtorácico completo (Philips iE-33; Philips Medical Systems, Países Bajos) con sondas de 5-1 y de 8-3 Mhz. Seguimos un protocolo estándar, sin corrección angular ni registro del ciclo respiratorio, que incluyó el análisis segmentario de la relaciones extracardiacas e intracardiacas, la exclusión de defectos intracardiacos y de los grandes vasos y la evaluación funcional del ventrículo izquierdo. No consideramos cardiopatía estructural un foramen ovale permeable < 2 mm. Recogimos la frecuencia cardiaca (FC), el peso y la talla en el momento de realizar el ecocardiograma. Un operador entrenado (más de 5 años de experiencia) revisó e informó los ecocardiogramas e incluyó en el estudio los considerados por el protocolo como normales. Medimos el TAPSE en los registros de modo M de la proyección de cuatro cámaras orientada en ecocardiografía bidimensional, colocando el cursor en el anillo lateral tricuspídeo próximo a la pared libre del VD, alineando lo máximo posible el cursor respecto al ápex del corazón (fig. 1).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico utilizamos el paquete SPSS v15.0 (SPSS; Illinois, Estados Unidos) y el programa R versión 2.11.0 (R Development Core Team)[14] para el análisis de los datos brutos. Consideramos que los valores de TAPSE seguían una distribución normal (comprobándolo con un gráfico Q-Q, no mostrado). Expresamos los valores como media $\pm$ desviación estándar (DE). Presentamos tablas con percentiles y con desviaciones muestrales. Incluimos valores de *Z-score*. El *Z-score* de una variable es la posición, expresada en $\pm$ DE, del caso observado respecto a la media poblacional. Analizamos las diferencias entre grupos mediante la prueba de la t de Student o ANOVA, según el número de variables estudiadas, en los casos que comprendieron variables cuantitativas, o con el test de la χ^2, en los casos con variables cualitativas. Para la comparación de la relación de las variables continuas con las características antropométricas muestrales, recurrimos a diferentes modelos de regresión (estimaciones curvilíneas: incluyendo lineal, logarítmico, inverso, cuadrático, cúbico, s, compuesto, potencial y exponencial); consideramos finalmente el modelo univariable más aproximado para obtener los coeficientes de correlación. Definimos las curvas descriptivas de la trayectorias de la muestra por regresión local polinómica *(loess)*. Para ello, utilizamos la función *loess*[15], que forma parte del paquete *stats* que acompaña a la instalación básica de R.

Estimamos las trayectorias medias de TAPSE en función de la edad y superficie corporal (SC) en la población con datos de la muestra, por medio de modelos lineales que incluían covariables definidas a partir de *splines*. Determinamos las matrices de covariables que definieron los *splines* por medio de tres funciones cuadráticas obtenidas a partir de funciones base tipo *B-spline*.

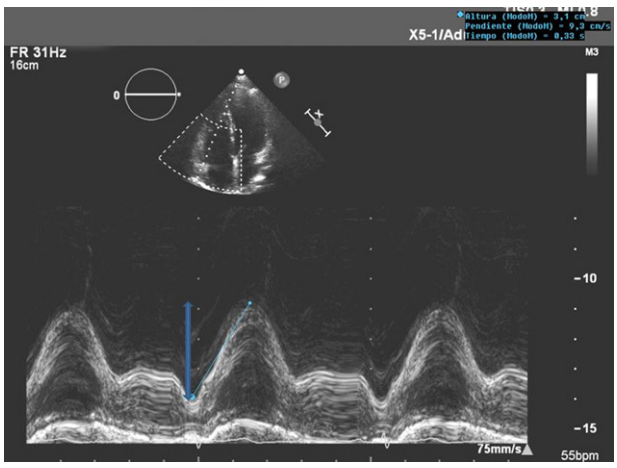

Figura 1. Técnica habitual para medir el desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo en modo monodimensional.

Calculamos la significancia de la curva *spline* por medio del test de ratio de verosimilitudes y comparamos el modelo completo con modelos anidados reducidos que incluían una simple regresión lineal. Calculamos las matrices de diseño utilizadas en los modelos de regresión que incorporaban las covariables para la edad y SC transformadas por *B-splines*[16] con la función *splineDesign* del paquete *splines* de R.

En 20 casos seleccionados aleatoriamente con objeto de valorar la reproducibilidad de las medidas, evaluamos la variabilidad interobservadores con la medición de los mismos parámetros por distintos operadores, enmascarados entre sí, y determinamos la variabilidad intraobservador con una nueva medición después de más 15 días de la inicial por parte del mismo ecocardiografista mediante el cálculo de la correlación intraclase[17], y trazamos los gráficos de Bland-Altman.

En el análisis estadístico, consideramos alcanzada la significación cuando se demostró un valor de p bilateral (dos colas) $< 5\%$.

Tabla 1
Características antropométricas de los participantes en el estudio, clasificados como cohorte total y estratificados por sexo

	Total	Mujeres	Varones
Pacientes	405 (100)	189 (46,7)	216 (53,3)
Edad (años)	4,12 ± 4,29	4,19 ± 4,28	4,08 ± 4,4
Peso (kg)	18,05 ± 16,07	18,26 ± 14,74	18,7 ± 17,17
Talla (cm)	95,22 ± 35,34	95,34 ± 35	95,11 ± 35,51
FC (lpm)	110,49 ± 30,04	111,02 ± 28,28	110,02 ± 31,56
SC (m^2)	0,67 ± 0,39	0,67 ± 0,38	0,67 ± 0,4
TAPSE (mm)	17,09 ± 5,09	16,78 ± 4,36	17,14 ± 4,86
FEVI (%)	69,55 ± 7,32	69,86 ± 7,68	69,28 ± 6,99

FC: frecuencia cardiaca; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; SC: superficie corporal; TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo.
Los datos expresan n (%) o media ± desviación estándar.

RESULTADOS

El grupo de estudio estuvo compuesto de 405 pacientes, con 217 varones (53%). La distribución estratificada por sexo de los participantes en los distintos grupos etarios se muestra en la figura 2. En la tabla 1, exponemos las características de nuestra población. No hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de TAPSE y fracción de eyección del ventrículo izquierdo ni en las características antropométricas según sexo.

En nuestra muestra, el TAPSE medio general ± 2 DE fue de 17,09 ± 5,09 mm y osciló entre 10,56 ± 3,96 mm en el periodo neonatal y 20,95 ± 6,54 mm en el grupo de 13 a 18 años.

En el análisis univariable, la SC y la edad presentaron las mejores correlaciones curvilíneas positivas con los valores de TAPSE (r = 0,798 y r = 0,81, respectivamente; $p < 0,001$), mientras que la FC mantuvo una correlación negativa (r = –0,742; $p < 0,001$). La figura 3 muestra las relaciones entre TAPSE y cada una de las variables previamente mencionadas. En el análisis multivariable, con resultados similares a los univariables, realizamos dos modelos: uno de ellos considera relaciones lineales y el otro considera la curva (por *splines*) para edad y SC. Los dos modelos resaltaron los mismos factores, desvelando una interacción triple edad-SC-FC y una interacción simple SC-sexo (la talla y el peso desaparecieron del modelo una vez incluida la SC). Encontramos las mismas interacciones de TAPSE con SC, edad y FC que considerando relaciones lineales.

Además, pudimos observar una importante disminución en los valores medidos en la muestra respecto a la edad en la relación

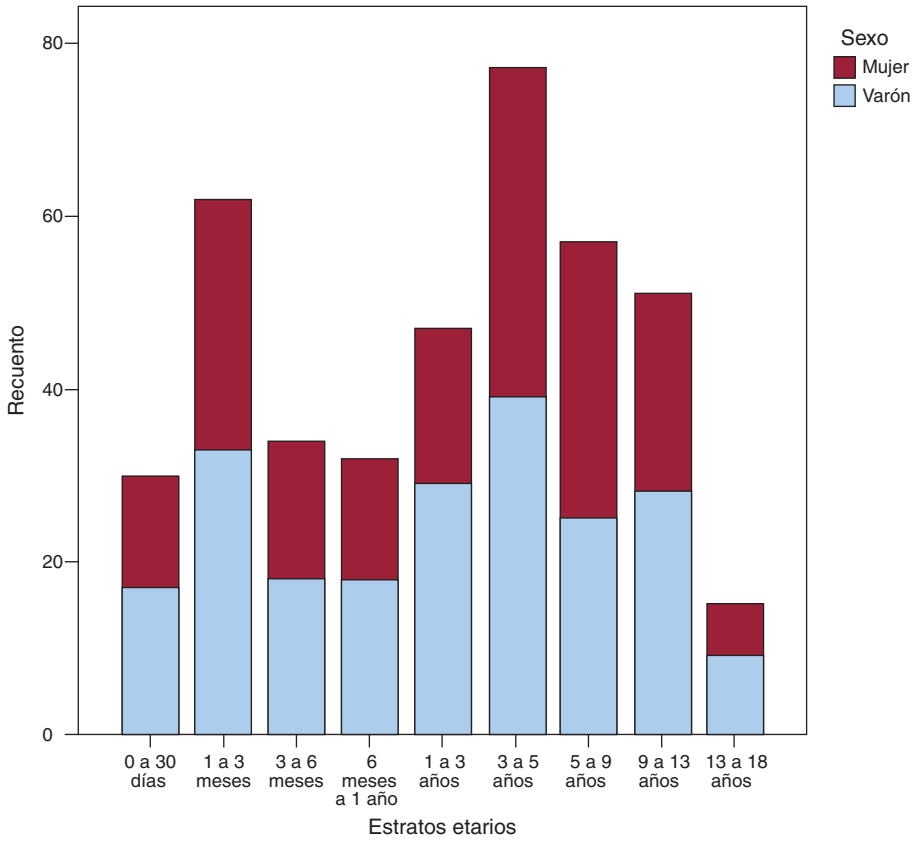

Figura 2. Histograma de frecuencias por edades. En azul, los datos de la población masculina, y en granate, los datos de la población femenina.

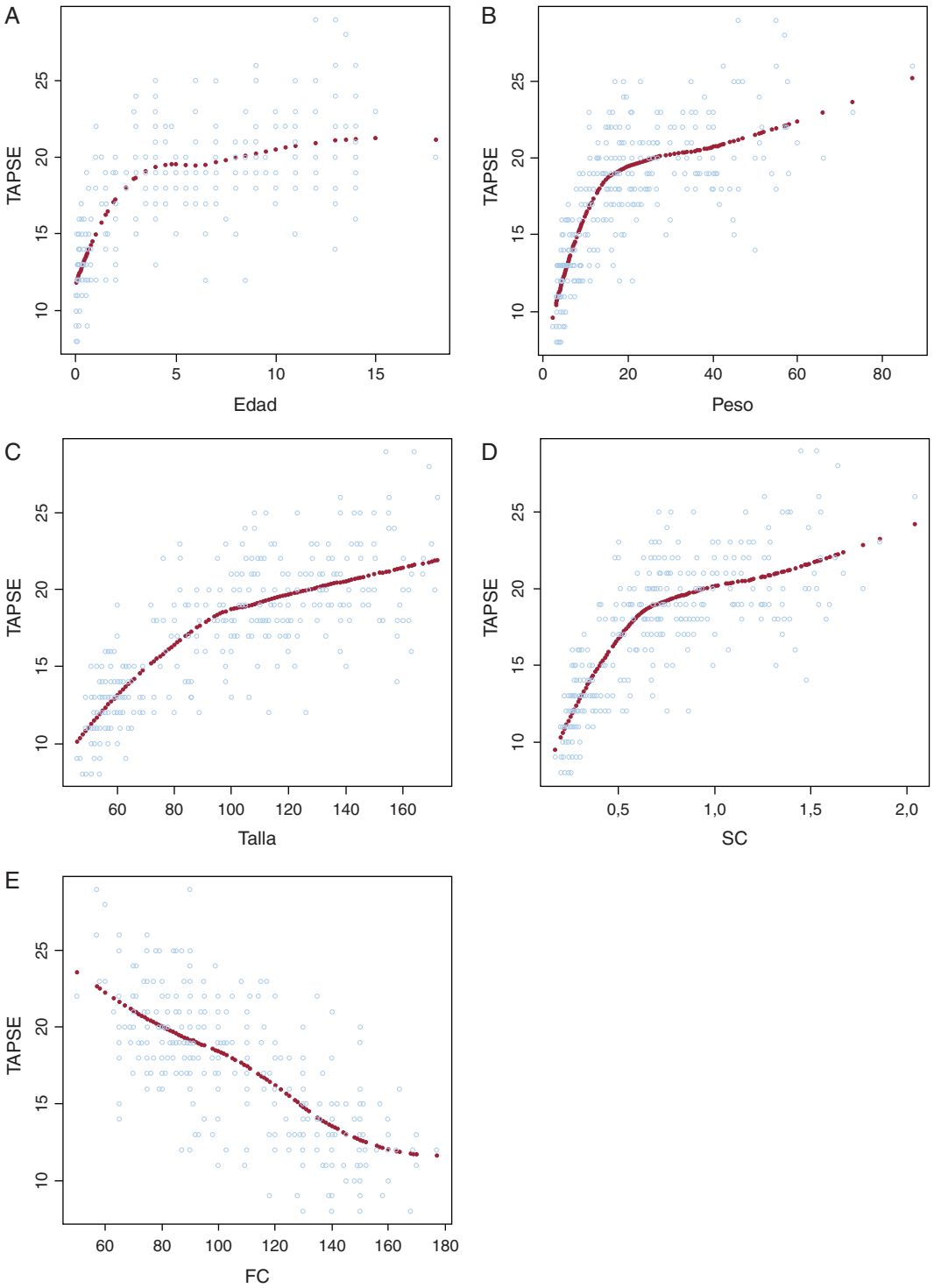

Figura 3. Curvas *loess* para cada variable respecto al desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo, indicando su distribución muestral. A: TAPSE en relación con la edad. B: TAPSE en relación con el peso. C: TAPSE en relación con la talla. D: TAPSE en relación con la superficie corporal. E: TAPSE en relación con la frecuencia cardiaca. En el caso de la relación TAPSE/frecuencia cardiaca, la relación es inversamente proporcional. FC: frecuencia cardiaca; SC: superficie corporal; TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo.

TAPSE medio ajustado por SC media (tabla 2), desde la SC media de 0,23 m^2 con TAPSE indexado de 45,91 mm/m^2, hasta la SC media de 1,59 m^2 con TAPSE indexado de 45,91 mm/m^2.

Los percentiles muestrales de TAPSE correspondientes a cada grupo de edad se exponen en la tabla 3, mientras que la tabla 4 los expone según la SC.

La determinación de TAPSE mostró buena concordancia interobservadores (CI = 0,74) e intraobservador (CI = 0,84). La figura 4 presenta la concordancia en las gráficas de Bland-Altman al respecto.

En relación con la población, la estimación por *splines* dio una orientación (fig. 5) en relación con la edad de los valores medios

Tabla 2
Valores muestrales del desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo para niños y adolescentes, con intervalo de confianza del 95% (±2 desviaciones estándar) y del 99% (±3 desviaciones estándar)[a], en función de su tramo etario. Además, se muestra la superficie corporal media, con sus máximos y mínimos estratificados por edad

Edad	n	TAPSE (mm)			Superficie corporal (m^2)			TAPSE medio Indexado por SC
		Media	± 2 DE (95%)	± 3 DE (99%)	Media	Mínimo	Máximo	
0 a 30 días	30	10,56	6,6 14,52	4,62 16,5	0,23	0,17	0,28	45,91
De 1 a 3 meses	62	12,96	9,28 16,64	7,44 18,48	0,28	0,21	0,44	46,28
De 3 a 6 meses	34	14,22	10,12 18,32	8,07 20,37	0,34	0,29	0,56	41,82
De 6 meses a 1 año	32	15,17	9,11 21,23	6,08 24,26	0,41	0,29	0,56	37
1 a 3 años	47	17,13	11,33 22,93	8,43 25,83	0,54	0,27	0,75	31,72
3 a 5 años	77	19,36	14,12 24,6	11,5 27,22	0,72	0,32	1,07	26,88
5 a 9 años	57	19,33	13,61 25,05	10,75 27,91	0,93	0,52	1,35	20,78
9 a 13 años	51	21,01	14,69 27,33	11,53 30,49	1,28	0,46	1,7	16,41
De 13 a 18 años	15	20,95	14,41 27,49	11,14 30,76	1,59	1,33	2,04	13,17

DE: desviación estándar; SC: superficie corporal; TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo.
[a] Realmente ± 2,56 DE corresponde al intervalo de confianza del 99% y ± 3 DE sería el 99,7% en la distribución normal.

Tabla 3
Percentiles de valores de desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo muestrales, según los estratos etarios

Edad	n	p5	p10	p25	p50	p75	p90	p95
0 a 30 días	30	7,8	8,01	8,99	10,7	11,95	13,36	14,59
De 1 a 3 meses	62	10	11	11,9	12,85	13,73	15,87	16,34
De 3 a 6 meses	34	11,15	11,7	12,58	13,65	16	17,35	17,9
De 6 meses a 1 año	32	10,86	12	13,08	14,55	17,7	20	21,35
1 a 3 años	47	12,3	13,24	15	17,2	19	21,2	22,3
3 a 5 años	77	15,5	16,44	17,8	19	21	22,1	23,92
5 a 9 años	57	14,7	15,94	17,5	19	20,85	23,66	25
9 a 13 años	51	15,24	17,1	19	21,5	23	24,96	27,2
De 13 a 18 años	15	15,5	17	18	20,8	23	26,8	28

Tabla 4
Percentiles de valores de desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo muestrales según la superficie corporal

Superficie corporal	n	p5	p10	p25	p50	p75	p90	p95
0 a 0,25 m^2	31	7,8	8,02	9	10,9	11,5	12,94	13
0,26 a 0,5 m^2	142	10,92	11,4	12,5	13,55	15,63	17,7	19
0,51 a 0,75 m^2	91	13,18	14,12	16,8	18,5	20	22	23,32
0,76 a 1 m^2	63	15,14	16,88	17,7	19	21	22	24,36
1,01 a 1,25 m^2	31	16,9	17,7	19	21	22,7	23,36	25
1,26 a 1,5 m^2	29	14,6	15,5	18	19,7	23,25	25	27,25
1,51 a 1,75 m^2	15	18	18	19,3	21,5	25	27,2	28,4
1,76 a 2,04 m^2 [a]	3	20	20	20	23	23	26,8	28

[a] Limitado por el escaso número de participantes con dicha superficie corporal.

esperados para el TAPSE en la población *(Z-score)*, con intervalo de confianza del 95% (*Z-score* ± 1) y del 99%. La figura 6 representa los valores medios de TAPSE según la SC.

DISCUSIÓN

Presentamos, por primera vez en España, los valores normales de TAPSE en una muestra pediátrica ajustadas por edad y SC. Sumándonos a otros estudios pioneros en población pediátrica[13], ofrecemos valores de referencia como guía para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas, sin necesidad de extrapolar dichos datos de estudios de población adulta.

En nuestro estudio, la relación del valor del TAPSE con el peso, la talla y la SC fue positiva. A diferencia de los adultos, la dificultad de los estudios sobre valores de referencia en la población pediátrica se encuentra en los cambios asociados al desarrollo, que determinan una marcada dependencia de muchas variables

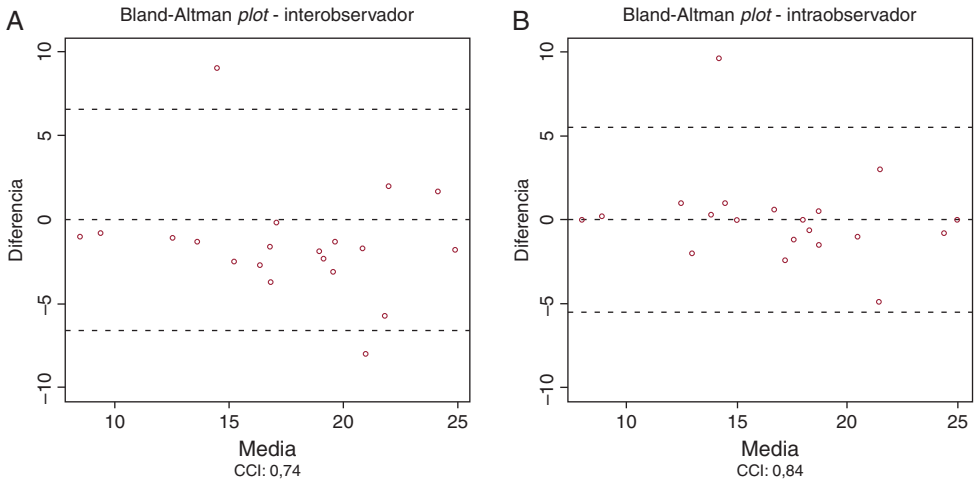

Figura 4. Gráficos de Bland-Altman que valoran la concordancia interobservadores (A) e intraobservador (B) para los valores del desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo. CCI: coeficiente de correlación intraclase.

antropométricas con la situación de maduración del sujeto de estudio[18]. La dependencia es conocida para muchas variables ecocardiográficas del VD, como por ejemplo el índice de Tei[19]. Nuestros hallazgos están en concordancia con el estudio de Koestenberger, que correlacionó de forma positiva la medida de TAPSE con la SC y la edad, con una progresión más rápida en neonatos y lactantes que en niños mayores y adolescentes, algo similar a lo descrito en el presente trabajo[13]. Por otra parte, la relación del TAPSE con la FC fue lineal y negativa. Aunque no se ha encontrado en todos los trabajos que la FC tenga clara influencia en el movimiento del plano anular valvular tricuspídeo[20], es posible que en nuestro caso la relación se deba a la relación inversa demostrada entre edad y FC que ocurre desde el nacimiento hasta la maduración, como señaló el modelo multivariable con sus múltiples y complejas interacciones.

La medición del TAPSE como parámetro que evalúa la función sistólica del VD fue reproducible. En nuestro estudio, encontramos buena concordancia de TAPSE interobservadores e intraobservador[17], de acuerdo con las recomendaciones publicadas[21] y en paralelo a otros trabajos en diferentes circunstancias[22]. Con otros métodos, se ha llegado a la misma conclusión de reproducibilidad[13]. Además, frente a otras técnicas menos disponibles (la resonancia magnética) o más cruentas (cateterismo derecho diagnóstico), el método es accesible a cualquier laboratorio de ecocardiografía pediátrico. Probablemente sean necesarios futuros estudios para evaluar el papel clínico de la medición de TAPSE en población pediátrica.

Limitaciones

Se debe tomar con cautela los valores ofrecidos en los grupos etarios superiores, debido al relativamente escaso número de sujetos incluidos; no obstante, en el extremo superior podrían ser

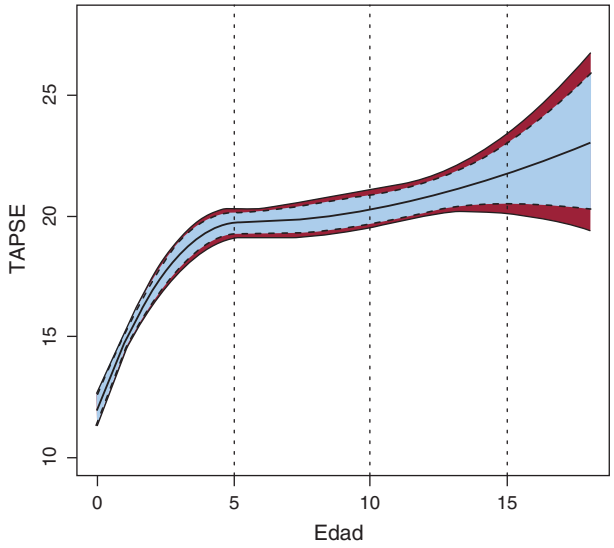

Figura 5. Gráfica que muestra en función de la superficie corporal la estimación poblacional de valores medios del desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo en niños y adolescentes normales en nuestro medio *(Z-score)*, junto a sus intervalos de confianza del 95% (línea punteada, *Z-score* ± 1) y del 99% (línea continua), de manera adecuada y accesible para la práctica clínica diaria en un laboratorio de ecocardiografía pediátrica. TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo.

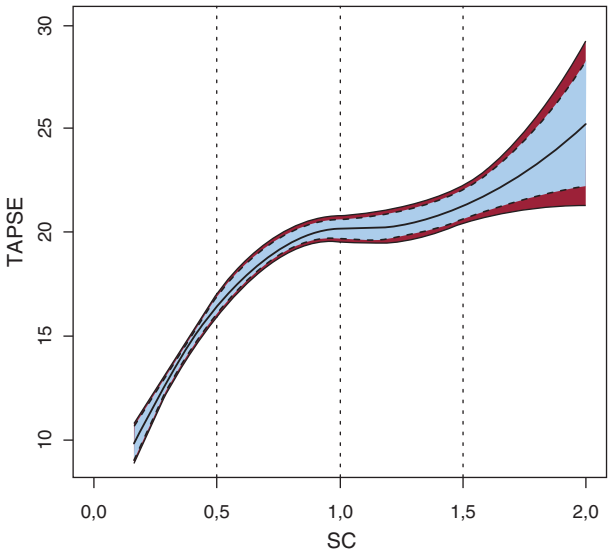

Figura 6. Gráfica que muestra en función de la superficie corporal la estimación poblacional de valores medios del desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo en niños y adolescentes normales en nuestro medio *(Z-score)*, junto a sus intervalos de confianza del 95% (línea punteada, *Z-score* ± 1) y del 99% (línea continua), de manera adecuada y accesible para la práctica clínica diaria en un laboratorio de ecocardiografía pediátrica. SC: superficie corporal; TAPSE: desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo.

aplicables los valores de los adultos. Posiblemente sea necesario también validar los resultados en futuros estudios con una segunda muestra de niños independiente. Sin patrón de referencia con el que comparar la función ventricular derecha, no pudimos discriminar la posible afectación de la función ventricular en caso de valores dentro de los límites de normalidad.

CONCLUSIONES

Presentamos valores de referencia de TAPSE en población pediátrica española normal. Los valores de TAPSE dependieron de la edad pero no del sexo y fueron directamente proporcionales a la SC e inversamente proporcionales a la FC. Esta información, presentada como percentiles, nomogramas y *Z-score*, podría utilizarse y ayudar a la toma de decisiones en la práctica clínica habitual.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ho SY, Nihoyannopoulos P. Anatomy, echocardiography, and normal right ventricular dimensions. Heart. 2006;92 Suppl 1:i2–13.
2. Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, Murphy DJ. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. Circulation. 2008;117:1436–48.
3. Sheehan F, Redington A. The right ventricle: anatomy, physiology and clinical imaging. Heart. 2008;94:1510–5.
4. Alonso-González R, Dimopoulos K, Ho S, Oliver JM, Gatzoulis MA. Ventrículo derecho y cardiopatías congénitas en el adulto. Rev Esp Cardiol. 2010;63:1070–86.
5. Greyson CR. Ventrículo derecho y circulación pulmonar: conceptos básicos. Rev Esp Cardiol. 2010;63:81–95.
6. Davlouros PA, Niwa K, Webb G, Gatzoulis MA. The right ventricle in congenital heart disease. Heart. 2006;92 Suppl 1:i27–38.
7. Warnes CA. Adult congenital heart disease: importance of the right ventricle. J Am Coll Cardiol. 2009;54:1903–10.
8. Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. Am Heart J. 1984;107:526–31.
9. Miller D, Farah MG, Liner A, Fox K, Schluchter M, Hoit BD. The relation between quantitative right ventricular ejection fraction and indices of tricuspid annular motion and myocardial performance. J Am Soc Echocardiogr. 2004;17:443–7.
10. Helbing WA, Bosch HG, Maliepaard C, Rebergen SA, Van der Geest RJ, Hansen B, et al. Comparison of echocardiographic methods with magnetic resonance imaging for assessment of right ventricular function in children. Am J Cardiol. 1995;76:589–94.
11. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2010;23:685–713.
12. Germing A, Gotzmann M, Rausse R, Brodherr T, Holt S, Lindstaedt M, et al. Normal values for longitudinal function of the right ventricle in healthy women >70 years of age. Eur J Echocardiogr. 2010;11:725–8.
13. Koestenberger M, Ravekes W, Everett AD, Stueger HP, Heinzl B, Gamillscheg A, et al. Right ventricular function in infants, children and adolescents: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 640 healthy patients and calculation of z score values. J Am Soc Echocardiogr. 2009;22:715–9.
14. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing; 2006.
15. Cleveland WS, Grosse E, Shyu WM. Local regression models. En: Chambers JM, Hastie TJ, editors. Statistical Models in S. London: Wadsworth&Brooks/Cole; 1992.
16. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The elements of statistical learning. Data mining, inference, and prediction. 2.ª ed. Berlin: Springer-Verlag; 2009.
17. Nickerson CAE. A Note on 'A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility'. Biometrics. 1997;53:1503–7.
18. Lipshultz SE, Miller TJ. Establishing norms for echocardiographic measurements of cardiovascular structures and function in children. Appl Physiol. 2005;99:386–8.
19. Roberson DA, Cui W, Chen Z, Madronero LF, Cuneo BF. Annular and septal Doppler tissue imaging in children: normal z-score tables and effects of age, heart rate, and body surface area. J Am Soc Echocardiogr. 2007;20:1276–84.
20. Arce O, Knudson O, Ellison M, Baselga P, Ivy D, DeGroff C, et al. Longitudinal motion of the atrioventricular annuli in children: reference values, growth related changes, and effects of right ventricular volume and pressure overload. J Am Soc Echocardiogr. 2002;15:906–16.
21. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pelikka PA, et al. Recommendations for chamber quantifications: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. J Am Soc Echocardiogr. 2005;18:1440–63.
22. Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, Housten-Harris T, Hemnes AR, Borlaug BA, et al. Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension. Am J Respir Crit Care Med. 2006;174:1034–41.