



Original Paper

## Echocardiographic Estimation of Ventricular and Systolic Elastance in Fetuses during Mid-Gestation compared to Neonates

Alie Nikdoust (M.D)<sup>\*1</sup> , Alireza Dehestani (M.D)<sup>2</sup> , Reza Shabaniyan (M.D)<sup>3</sup> , Minoo Dadkhah (M.D)<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Pediatric Cardiologist, Payaambar Azam Hospital, Kerman, Iran. <sup>2</sup> Assistant Professor of Pediatric Cardiac Surgery, Department of Surgery, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. <sup>3</sup> Associate Professor of Pediatric Cardiology, Department of Pediatric, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. <sup>4</sup> Pediatric Cardiologist, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

### Abstract

**Background and Objective:** Echocardiographic measurement of ventricular elastance is essential for evaluating cardiac function. With the technological advancements in echocardiography devices, assessing fetal heart function has become more accurate. Ventricular elastance reflects ventricular function, while arterial elastance measures ventricular afterload. Ventricular-arterial coupling demonstrates the interaction between the ventricle and artery. This study aimed to estimate ventricular end-systolic elastance, arterial elastance, and ventricular-arterial coupling using a non-invasive echocardiographic method.

**Methods:** This descriptive-analytical study was conducted on 67 fetuses with a gestational age of 19-24 weeks (38 female fetuses and 29 male fetuses) and 43 infants aged 10-60 days (25 female and 18 male) referred to the cardiac echocardiography clinic of the Children's Medical Center over a period of 14 months. Mothers and infants were healthy, and there was no structural heart disease in the fetuses and infants. Those with abnormal rhythm, a vague view, and an unfavorable quality of Doppler signal were excluded. Ventricular end-systolic elastance (Ea), arterial elastance (Ees), and ventricular-arterial coupling (Ea/Ees) were compared in fetuses with the calculated values in newborns. An estimation of the normal value for ventricular and arterial elastances and ventricular-arterial coupling in healthy fetuses and newborns were obtained.

**Results:** The mean arterial elastance of fetuses and newborns was determined as  $84.4 \pm 20.04$  mmHg/ml and  $12.6 \pm 2.88$  mmHg/ml, respectively ( $P < 0.05$ ). The mean ventricular elastance of fetuses and newborns was  $88.5 \pm 20.49$  mmHg/ml and  $15.07 \pm 2.89$  mmHg/ml, respectively ( $P < 0.05$ ). Fetal and newborn ventricular-arterial coupling were calculated as  $0.96 \pm 0.14$  mmHg/ml and  $0.84 \pm 0.13$  mmHg/ml, respectively ( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** The amounts of arterial and ventricular elastance and ventricular-arterial coupling in fetuses were significantly higher than infants and decreased with increasing age.

**Keywords:** Echocardiography, Fetus, End-Systolic Elastance, Arterial Elastance, Ventricular-Arterial Coupling.

\*Corresponding Author: Alie Nikdoust (M.D), E-mail: alieyehnikdost@gmail.com

Received 23 Aug 2022

Final Revised 24 Dec 2022

Accepted 31 Dec 2022

Published Online 21 Jun 2023

Cite this article as: Nikdoust A, Dehestani A, Shabaniyan R, Dadkhah M. [Echocardiographic Estimation of Ventricular and Systolic Elastance in Fetuses during Mid-Gestation compared to Neonates]. J Gorgan Univ Med Sci. 2023; 25(1): 64-69. [Article in Persian]





تحقیقی

## مقایسه اکوکاردیوگرافیک میزان الاستانس پایان سیستولی بطن چپ جنین در نیمه بارداری و الاستانس پایان سیستولی نوزادان

دکتر عالیه نیکدوست\*<sup>۱</sup>، دکتر علیرضا دهستانی<sup>۲</sup>، دکتر رضا شعبانیان<sup>۳</sup>، دکتر مینو دادخواه<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> فوق تخصص قلب کودکان، گروه اطفال، بیمارستان پیامبر اعظم، کرمان، ایران. <sup>۲</sup> استادیار جراحی قلب کودکان، گروه جراحی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. <sup>۳</sup> دانشیار قلب کودکان، گروه اطفال، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. <sup>۴</sup> فوق تخصص قلب کودکان، گروه اطفال، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

### چکیده

زمینه و هدف: اندازه‌گیری الاستانس بطنی با استفاده از اکوکاردیوگرافی در ارزیابی عملکرد قلبی کمک کننده است. به دنبال پیشرفت تکنولوژیک دستگاه‌های اکوکاردیوگرافی ارزیابی عملکرد قلبی جنین ارتقا پیدا نموده است. الاستانس بطنی نشانگر عملکرد بطنی بوده و الاستانس شریانی معیاری از پس بار بطنی است. جفت شدن بطنی - شریانی نیز واکنش متقابل بطنی - شریانی را نشان می‌دهد. این مطالعه برای به دست آوردن تخمینی از مقادیر الاستانس پایان سیستولی بطنی، الاستانس شریانی و جفت شدن بطنی - شریانی با استفاده از روش غیرتهاجمی اکوکاردیوگرافی انجام شد.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی تحلیلی روی ۶۷ جنین با سن بارداری ۲۴-۱۹ هفته (۳۸ جنین دختر و ۲۹ جنین پسر) و ۴۳ نوزاد با سن ۶۰-۱۰ روز (۲۵ دختر و ۱۸ پسر) مراجعه کننده به کلینیک اکوکاردیوگرافی قلب مرکز طب کودکان در یک بازه زمانی ۱۴ ماهه طی سال‌های ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. مادران و نوزادان بیماری زمینه‌ای نداشتند. نوزادان بیماری ساختاری قلب و جنین‌ها بیماری ساختاری نداشتند. مواردی شامل نداشتن ریتم سینوسی، view نامناسب و کیفیت نامطلوب سیگنال pulsed Doppler حاصله برای اندازه‌گیری متغیرها در مطالعه وارد نشدند. الاستانس پایان سیستولی بطن (Ea)، الاستانس شریانی (Ees) و جفت شدن بطنی - شریانی (Ea/Ees) به روش اکوکاردیوگرافی در جنین‌ها با مقادیر محاسبه شده در نوزادان مقایسه گردید. با در نظر گرفتن درصدی تخمین در مقادیر PEP (Pre-ejection period)، مقادیر ET (Ejection time) و فشار خون جنین، تخمینی از مقدار متوسط نرمال الاستانس بطنی و شریانی و همچنین جفت شدن بطنی - شریانی در جنین و نوزاد سالم به دست آمد.

یافته‌ها: میانگین الاستانس شریانی جنین‌ها و نوزادان به ترتیب  $۸۴/۴ \pm ۲۰/۰۴$  و  $۱۲/۶ \pm ۲/۸۸$  میلی‌متر جیوه بر میلی لیتر تعیین شد ( $P < ۰/۰۵$ ). میانگین الاستانس بطنی جنین‌ها و نوزادان به ترتیب  $۸۸/۵ \pm ۲۰/۴۹$  و  $۱۵/۰۷ \pm ۲/۸۹$  میلی‌متر جیوه بر میلی لیتر حاصل شد ( $P < ۰/۰۵$ ). میانگین جفت شدن بطنی - شریانی جنین‌ها و نوزادان به ترتیب  $۰/۹۶ \pm ۰/۱۴$  و  $۰/۸۴ \pm ۰/۱۳$  میلی‌متر جیوه بر میلی لیتر به دست آمد ( $P < ۰/۰۵$ ). نتیجه‌گیری: میزان الاستانس شریانی، بطنی و جفت شدگی بطنی - شریانی در جنین‌ها به طور قابل توجهی بیشتر از نوزادان بود و با افزایش سن کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: اکوکاردیوگرافی، جنین، الاستانس بطنی، الاستانس شریانی، جفت شدن بطنی - شریانی

\* نویسنده مسؤول: دکتر عالیه نیکدوست، پست الکترونیکی [aliyehnikdost@gmail.com](mailto:aliyehnikdost@gmail.com)

نشانی: کرمان، خیابان ابوحامد، میدان جیحون، بیمارستان پیامبر اعظم، کدپستی ۷۶۱۴۷۴۹۵۴۹، تلفن ۰۳۴-۳۲۲۲۶۰۰۴۱، شماره ۳۲۲۳۱۶۹۶

وصول ۱۴۰۱/۶/۱ اصلاح نهایی ۱۴۰۱/۱۰/۳ پذیرش ۱۴۰۱/۱۰/۱۰ انتشار ۱۴۰۲/۳/۳۱

### مقدمه

مقاومت عروق سیستمیک و قدرت انقباضی میوسیت‌های قلبی در جنین در زمانی است که بطن چپ در مقابل مقاومت جفت انقباض می‌یابد. استفاده از جفت شدن بطنی - شریانی در مواردی چون نارسایی قلبی، فشارخون شریانی، بیماری‌های دریچه‌ای و عروق کرونر کاربرد بالینی دارد.<sup>۱-۳</sup> بررسی ارتباط بین خصوصیات انقباضی بطن و پس بار عروقی (Vascular afterload) از طریق منحنی‌های ارتباط فشار و حجم بطنی امکان‌پذیر است.<sup>۴</sup> کاهش انقباض میوکارد

ارزیابی‌های داخل رحمی وضعیت قلب جنین سخت و عارضه‌دار است. بررسی سیستم قلبی - عروقی جنین به روش‌های غیرتهاجمی از جمله اکوکاردیوگرافی قابل انجام است.<sup>۱،۲</sup> ارتباط متقابل عملکرد بطن و سیستم شریانی که روی عملکرد بطن تاثیر دارد به عنوان Ventriculo-Arterial coupling خوانده می‌شود و بیانگر کلی کفایت عملکرد قلبی است. این نسبت برآیندی از

دوران بارداری به کلینیک اکوکاردیوگرافی قلب مرکز طی کودکان مراجعه نموده بودند. نوزادان مراجعه کننده به درمانگاه قلب بیمارستان مرکز طی کودکان به دلیل شنیده شدن سوفل وارد مطالعه شدند. نمونه‌ها برای محاسبه Elastance بطنی و جفت شدن بطنی شریانی تحت اکوکاردیوگرافی قرار گرفتند.

معیار ورود به مطالعه سن بارداری ۲۴-۱۹ هفته بود. معیارهای عدم ورود به مطالعه شامل بیماری زمینه‌ای مادر، بیماری ساختاری جنین، بیماری زمینه‌ای نوزاد و داشتن بیماری ساختاری قلب در نوزاد بود. معیارهای خروج از مطالعه شامل نداشتن ریتم سینوسی، view نامناسب و کیفیت نامطلوب سیگنال pulsed Doppler به دست آمده برای اندازه‌گیری متغیرها بودند.

محاسبه حجم نمونه با استناد به یافته‌های کیانی و گیلانی<sup>۱۲</sup> و در نظر گرفتن انحراف معیار ۳ برای Ees و خطای برآورد ۱/۵ درصد انجام شد. با در نظر گرفتن سطح خطای ۵ درصد حداقل حجم نمونه نهایی برای این مطالعه ۳۴ نفر، بر اساس فرمول  $N = z^2 \cdot \alpha / 2 \cdot \sigma^2$  برآورد شد. نمونه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها به مدت ۱۴ ماه طول کشید. اطلاعات لازم از جمله مشخصات دموگرافیک بیماران، فشارخون و موارد دیگر در فرم‌های ثبت اطلاعات در مورد هر یک از بیماران تکمیل گردید. پس از ثبت پارامترهای لازم با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگرافی Philips و ترانسدویسر curved array فرکانس باند پهن (۲-۹C)، محاسبه الاستانس انتهای سیستولی بطنی، الاستانس شریانی و جفت شدن بطنی شریانی از روش Chen و همکاران طبق جدول یک انجام شد.<sup>۱۵</sup>

جدول ۱: محاسبه الاستانس انتهای سیستولی بطنی، الاستانس شریانی و جفت شدن بطنی شریانی

$$Ees(sb) = \frac{[Pd - (ENd \times Ps \times 0.9)] / [Ved - Ves] \times ENd}{(ENd \times Ps \times 0.9) / [SV \times ENd]}$$

$$ENd(est) = 0.0275 - 0.165 \times EF + 0.3656 \times (Pd/Pes) + 0.515 \times ENd(avg)$$

$$ENd(avg) = \sum_{i=0}^n ai \times t_{nd}$$

$$Ees(sb) = \frac{[Pd - (ENd(est) \times Ps \times 0.9)] / [SV \times ENd(est)]}{Ea = ESP/SV}$$

$$Ventriculo-arterial\ coupling = Ea/Ees$$

Ea: الاستانس شریانی؛ Ees: الاستانس انتهای سیستولی بطن؛ EF: کسرجهشی؛ ENd: الاستانس در شروع انقباض بطن؛ Ees(sb): الاستانس انتهای سیستولی بطن در هر ضربان؛ ENd (avg): الاستانس متوسط در زمان انقباض بطن؛ ESP: فشار انتهای سیستولی بطنی؛ Pd: فشار دیاستول شریانی؛ Ps: فشار سیستول شریانی؛ SV: حجم ضربه ای؛ Ves: حجم پایان سیستولی بطن؛ Ved: حجم پایان دیاستولی بطن داده‌های اکوکاردیوگرافی شامل اندازه‌گیری قطر آئورت در نمای Parasternal long axis در base لت‌های آئورت (شکل ۱-الف)، ارزیابی کسر جهشی (ejection fraction) به روش Simpson در نمای 4-chamber با ارزیابی حجم‌های پایان سیستولی و دیاستولی (شکل ۱-ب و ۱-ج)، حجم ضربه‌ای (stroke volume) از طریق داده‌های pulsed-wave Doppler flow و سطح مقطع آئورت (شکل ۲-الف) بودند. یافته‌های حاصل از داپلر دریچه میترال و دریچه آئورتی که به طور همزمان در نمای 5-chamber آورده شد؛ برای تخمین زمان‌های Ejection time و pre ejection period مورد

به موازات افزایش اندک الاستانس شریانی منجر به بدتر شدن نسبت جفت شدن (coupling) بطنی - شریانی می‌شود. به عبارتی ارتباط خطی معکوس بین امپدانس عروقی و حجم ضربه‌ای وجود دارد. تغییرات مشاهده شده در پس بار و پیش بار ممکن است اثرات متضاد بر روی قدرت انقباضی داشته باشد.<sup>۸</sup>

استفاده از اکوکاردیوگرافی برای ارزیابی الاستانس پایان سیستولی (Ees) بطن چپ و الاستانس شریانی (Ea) جنین می‌تواند به سادگی از طریق اندازه‌گیری پارامترهای غیرتهاجمی انجام گردد. به طوری که مقادیر به دست آمده به خوبی با داده‌های تهاجمی اندازه‌گیری شده ارتباط داشته باشد. علاوه بر کارآیی در خصوص تعیین قدرت انقباضی، این مقادیر می‌تواند پاسخ‌های ترکیبی قلبی - عروقی را به تغییرات بارگیری عروقی مشخص نماید. ارتباط متقابل عملکرد بطن و خصوصیات سیستم شریانی که روی عملکرد بطن تاثیر دارد؛ به عنوان جفت شدن بطنی - شریانی (Ventricular-Arterial Coupling) خوانده می‌شود و بیانگر کلی کفایت عملکرد قلبی است. این ارتباط می‌تواند به صورت ارتباط بین الاستانس شریانی و الاستانس انتهای سیستولی بطن چپ بیان شود.<sup>۱۵</sup> الاستانس انتهای سیستولی بطن چپ در بزرگسالان برای قلب نرمال حدود ۲ میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر، برای قلب‌های با نارسایی دیلاته کمتر از یک میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر و در قلب‌های هیپروتروفیک ۴ میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر گزارش شده است.<sup>۹-۱۱</sup> میزان الاستانس بطنی و الاستانس شریانی با افزایش سن و سطح بدن (BSA) کاهش می‌یابد؛ ولی مقادیر جفت شدگی بطنی - شریانی با افزایش سن و وزن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.<sup>۱۲-۱۴</sup> این مطالعه برای به دست آوردن تخمینی از مقادیر الاستانس پایان سیستولی بطنی، الاستانس شریانی و جفت شدن بطنی شریانی با استفاده از روش غیرتهاجمی اکوکاردیوگرافی انجام شد.

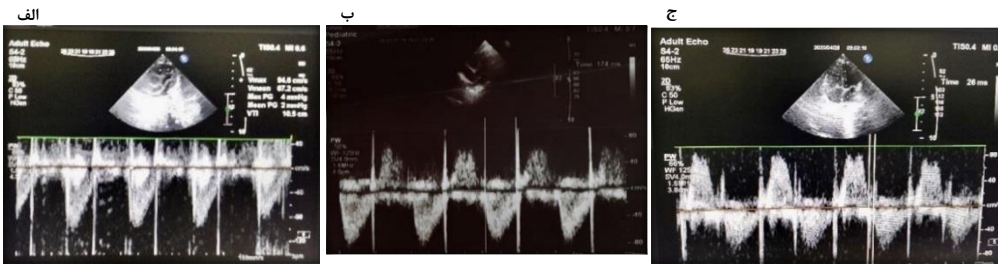
## روش بررسی

این مطالعه توصیفی تحلیلی روی ۶۷ جنین با سن بارداری ۲۴-۱۹ هفته (۳۸ جنین دختر و ۲۹ جنین پسر) و ۴۳ نوزاد با سن ۶۰-۱۰ روز (۲۵ دختر و ۱۸ پسر) مراجعه کننده به کلینیک اکوکاردیوگرافی قلب مرکز طی کودکان در یک بازه زمانی ۱۴ ماهه طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش مرکز طی کودکان - دانشگاه علوم پزشکی تهران (IR.TUMS.CHMC.REC.1398.142) قرار گرفت.

قبل از شرکت در مطالعه، آگاهی کامل به مادران داده شد و از آنان رضایت نامه کتبی شرکت در مطالعه اخذ شد. برای بیماران هیچ اقدام تشخیصی تهاجمی انجام نشد. همچنین هیچ هزینه‌ای بابت اقدامات تشخیصی از بیماران گرفته نشد. به مادران اطمینان داده شد که کلیه اطلاعات مربوط به آنها محرمانه خواهد ماند. سپس نمونه‌ها به صورت تصادفی وارد مطالعه شدند. زنان باردار برای مراقبت‌های



شکل ۱: اندازه گیری سایز دریچه آئورت؛ (ب) اندازه گیری حجم پایان سیستولی بطن؛ (ج) اندازه گیری حجم پایان دیاستولی بطن



شکل ۲: (الف) اندازه گیری VTI؛ (ب) اندازه گیری Ejection time؛ (ج) اندازه گیری Pre ejection time

جدول ۲: مقایسه الاستانس بطنی، شریانی و جفت شدگی بطنی - شریانی

P-value	جنین	نوزاد	متغیرها
۰/۰۰۱	۸۴/۴±۲۰/۰۴	۱۲/۶±۲/۸۸	الاستانس شریانی (Ea) (mmHg/ml)
۰/۰۰۱	۸۸/۵±۲۰/۴۹	۱۵/۰۷±۲/۸۹	الاستانس انتهای سیستول بطن چپ (Ees) (mmHg/ml)
۰/۰۰۱	۰/۹۶±۰/۱۴	۰/۸۴±۰/۱۳	جفت شدگی بطنی- شریانی (Ea/Ees)

مختلف بارداری انجام شده که ما برای محاسبه فشارخون جنین از نتایج این بررسی‌ها استفاده کردیم.<sup>۱۶</sup>

فشارخون انتهای سیستولی و دیاستولی نوزاد نیز با استفاده از کاف فشارسنج با سایز مناسب نوزاد به روش اسپلومتري در جمعیت نوزادان اندازه‌گیری شد. تمام این اطلاعات اکوکاردیوگرافیک و بالینی در فرم‌های جمع‌آوری اطلاعات ثبت شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-18 تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین بین متغیرهای مطالعه شده با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها، براساس آزمون t مستقل بین گروه‌ها (Independent-Samples T- Test) در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ انجام گردید.

#### یافته‌ها

دو گروه جنین و نوزاد از نظر جنسیت و سایر متغیرهای مخدوش کننده یکسان بودند.

میانگین الاستانس شریانی (Ea) جنین‌ها و نوزادان به ترتیب ۸۴/۴±۲۰/۰۴ و ۱۲/۶±۲/۸۸ میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر تعیین شد (P<۰/۰۵). میانگین Ea در نوزادان ۷۱/۸ واحد میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر کمتر از جنین بود (جدول ۲).

میانگین الاستانس بطنی (Ees) جنین‌ها و نوزادان به ترتیب ۸۸/۵±۲۰/۴۹ و ۱۵/۰۷±۲/۸۹ میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر حاصل شد

استفاده قرار گرفت (شکل ۲-ب). از آنجایی که ثبت نوار قلب جنین به صورت غیرتهاجمی امکان‌پذیر نیست؛ اندازه‌گیری زمان‌های Ejection time و Pre-ejection period به صورت تخمینی از انتهای سیستول دهلیزی تا شروع و انتهای سیستول بطنی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲-ج). در مورد نوزادان نیز داده‌ها به صورت مشابهی محاسبه گردید که با داده‌های به‌دست آمده از روش‌های انجام شده همزمان با نوار قلب قابل مقایسه (نزدیک) بود.<sup>۱۳</sup>

با استفاده از روش Envelope tracing (modal tracing) در ریچه آئورتی VTI (velocity of time integral) اندازه‌گیری شد. الاستانس شریانی موثر (arterial elastance: Ea) براساس نسبت فشار انتهای سیستولی به حجم ضربه‌ای به‌دست آمده از روش داپلر محاسبه گردید. برای افزایش دقت اندازه‌گیری Sweep بر روی حداکثر و میانگین داده‌ها در پنج ضربه محاسبه شد. تمامی داده‌ها توسط یک اکوکاردیوگرافست آنالیز گردید. این فرد آگاهی به اطلاعات بالینی بیمار نداشت.

فشارخون انتهای سیستولی و دیاستولی جنین بر اساس فرمول‌های زیر تخمین زده شد.<sup>۱۶</sup>

$$\text{Systolic BP} = 1.06 \times \text{Gestational age} + 15.91$$

$$\text{Diastolic BP} = 0.67 \times \text{Gestational age} + 2.47$$

با توجه به محدودیت اندازه‌گیری مستقیم فشارخون جنین، روش‌های غیرتهاجمی اندازه‌گیری میزان فشارخون جنین از طریق ارزیابی داپلر رنگی جریان خون آئورت و دیامتر امواج در سنین

( $P < 0/05$ ). میانگین Ees در نوزادان  $73/43$  واحد میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر کمتر از جنین بود (جدول ۲).

میانگین جفت شدن بطنی - شریانی (Ea/Ees) جنین‌ها و نوزادان به ترتیب  $0/14 \pm 0/96$  و  $0/13 \pm 0/84$  میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر به دست آمد ( $P < 0/05$ ). میانگین Ea/Ees در نوزادان  $0/12$  واحد میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر کمتر از جنین بود (جدول ۲).

### بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، میانگین Ea برای جنین نرمال  $84/4 \text{ mmHg/ml}$  و برای نوزاد  $12/6 \text{ mmHg/ml}$  بود که نشانگر کاهش میزان الاستانس شریانی با افزایش سن است. میانگین Ees برای جنین نرمال  $88/5 \text{ mmHg/ml}$  و برای نوزاد  $15/07 \text{ mmHg/ml}$  بود که حاکی از کاهش میزان الاستانس بطنی با افزایش سن است. میانگین Ea/Ees برای جنین  $0/96$  و برای نوزاد  $0/84$  بود. میزان نرمال Ea و Ees برای جمعیت بزرگسال در حال استراحت به ترتیب  $2/2 \pm 1/3$  است. در نتیجه نسبت آنها حدود یک بوده که نشانه جفت شدن ایده‌آل بطن چپ و سیستم شریانی برای ایجاد کار ضربه‌ای است. کار ضربه‌ای مرتبط با فشار خون سیستمیک و حجم ضربه‌ای و مصرف اکسیژن است.<sup>۱۷</sup> با توجه به نتایج مطالعه حاضر نسبت جفت شدن بطنی - شریانی اندازه‌گیری شده در جنین نزدیک به یک است. هنگامی که نسبت Ea/Ees کمتر از یک باشد؛ کار ضربه‌ای همچنان به شرایط ایده‌آل نزدیک است. در صورتی که نسبت Ea/Ees به بیشتر از یک افزایش یابد؛ کار ضربه‌ای افت قابل توجهی داشته و بطن چپ نارسایی پیشرونده‌ای خواهد داشت.<sup>۱۸</sup> مزیت این روش در تعیین پاسخ‌های ترکیبی قلبی - عروقی با در نظر گرفتن تغییرات بارگیری عروقی همزمان با انقباض بطنی است. به عبارتی دیگر سیستم بطنی و سیستم شریانی به تنهایی بدون در نظر گرفتن دیگری مورد ارزیابی قرار نخواهند گرفت.<sup>۶</sup> هرچند محاسبه غیرتجاهلی الاستانس بطنی نیاز به فرمول‌های پیچیده داشته که البته امروزه با استفاده از الگوریتم‌های رایانه‌ای به راحتی قابل استفاده در بالین بیماران است.<sup>۴</sup> میانگین Ea/Ees در جنین نسبت به نوزاد افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. این امر بیانگر آن است که جفت شدن شریانی - ویدی نسبت معکوس با PEP و ET نرمال و کسر جهشی (EF) نشان می‌دهد. نشان داده شده است که افزایش تعداد ضربان قلب با افزایش الاستانس شریانی همراهی داشته که در جنین با توجه به تعداد ضربان در مقایسه با نوزاد توجیه‌کننده مقادیر بالاتر الاستانس شریانی در جنین است.<sup>۱۹</sup> به منظور حفظ نسبت یک برای نسبت Ea/Ees، الاستانس بطنی نیز در جنین بالاتر از مقادیر نرمال آن برای نوزاد است که در مطالعه ما نیز نتایج به دست آمده همسو با این تغییرات فیزیولوژیک وابسته به سن بود. مقایسه روش تخمینی اندازه‌گیری الاستانس بطنی (Ees) در نوزاد بدون استفاده از نوار قلب

با مقادیر به دست آمده از مطالعاتی که از روش استاندارد با کمک ECG همزمان استفاده نموده‌اند حاکی از مقادیر به دست آمده نزدیک به هم است. در مطالعه ما که به روش تخمینی بدون استفاده از ECG انجام گرفته است؛ مقادیر الاستانس بطنی (Ees)  $43$  نوزاد بدون نوار قلب  $15/07 \pm 2/89$  میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر محاسبه شد. در مطالعه Khosroshahi و همکاران میزان الاستانس بطنی  $30$  نوزاد با نوار قلب  $56 \pm 13/1$  میلی‌متر جیوه بر میلی‌لیتر به دست آمد.<sup>۱۳</sup>

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که اندازه‌گیری الاستانس پایان سیستولی به روش اکوکاردیوگرافی در جنین قابل تخمین بوده و با توجه به غیرتجاهلی بودن آن می‌تواند به دفعات در پیگیری اختلال عملکرد قلب جنین مانند سندرم انتقال خون جنین به جنین (twin to twin transfusion syndrome) و یا آریتمی‌های طول کشیده در جنین به کار برده شود. بایستی توجه داشت که مقادیر نرمال الاستانس بطنی در جنین در سنین مختلف با توجه به تغییرات فیزیولوژیک بر اساس سن متفاوت بوده و تعیین آن در بازه‌های سنی متفاوت ضروری است. این روش همچنین در بررسی تاثیر درمان‌های احتمالی انجام شده در بطن‌های با کارکرد مختل در دوران جنینی می‌تواند کمک‌کننده باشد.

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر، فقدان الکتروکاردیوگرافی برای تعیین زمان‌های PEP و ET است که در فقدان ECG همزمان، تخمینی از انتهای موج A تا ابتدا و انتهای زمان Ejection time برای محاسبه آنها مورد استفاده قرار گرفت.<sup>۱۵</sup> بنابراین Ees اندازه‌گیری شده در جنین که در مطالعه ما بدون استفاده از ECG محاسبه شده است؛ می‌تواند تنها تخمینی از الاستانس واقعی در دوران جنینی باشد. محدودیت دیگر این مطالعه در اندازه‌گیری جفت شدن بطنی - شریانی به علت عدم امکان اندازه‌گیری فشارخون به‌طور مستقیم در جنین است. زیرا در صورت استفاده از فرمول‌های تخمین فشارخون در جنین، عدد محاسبه شده برای جفت شدن بطنی - شریانی می‌تواند از مقادیر واقعی آن در جنین فاصله قابل توجهی داشته باشد. شاید به منظور رفع این مشکل بتوان از روش Struijk و همکاران که به ارزیابی غیرتجاهلی فشارخون جنین از طریق داپلرنگی جریان خون آئورت (دیامتر امواج) پرداخته‌اند؛ استفاده نمود.<sup>۱۶</sup> در این روش از امواج پایدار پالس Constant pulse wave velocity استفاده شده است. لازم به ذکر است این اندازه‌گیری‌ها آسان نبوده و بایستی با روش‌های تسهیل‌شده‌ای که قابل دسترسی و آسان باشد؛ جایگزین گردد. از دیگر محدودیت‌های این مطالعه، اجرا روی حجم نمونه نسبتاً کم و به صورت مقطعی و عدم مقایسه جنین با خودش بعد تولد است. بررسی‌های اکوکاردیوگرافی در زمانی طولانی‌تر و با تعداد نمونه بیشتر می‌تواند تخمین دقیق‌تری از تغییرات الاستانس در جنین در اختیار ما قرار دهد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه خانم دکتر عالیہ نیکدوست برای اخذ درجه فوق تخصصی قلب کودکان از دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران بود. بدین وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام این مطالعه همراهی نمودند؛ تقدیر و تشکر می‌گردد. بین نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده بیشتر بودن میزان الاستانس شریانی، بطنی و جفت شدگی بطنی - شریانی در جنین‌ها در مقایسه با نوزادان بود. میزان الاستانس و نیز میانگین جفت شدن بطنی - شریانی با افزایش سن کاهش نشان داد.

## References

- Ménigault E, Vieyres P, Lepoivre B, Durand A, Pourcelot L, Berson M. Fetal heart modelling based on a pressure-volume relationship. *Med Biol Eng Comput.* 1997; 35: 715-21. doi: 10.1007/BF02510983
- Hamill N, Yeo L, Romero R, Hassan SS, Myers SA, Mittal P, et al. Fetal cardiac ventricular volume, cardiac output, and ejection fraction determined with 4-dimensional ultrasound using spatiotemporal image correlation and virtual organ computer-aided analysis. *Am J Obstet Gynecol.* 2011 Jul; 205(1): 76.e1-10. doi: 10.1016/j.ajog.2011.02.028
- Antonini-Canterin F, Poli S, Vriza O, Pavan D, Bello VD, Nicolosi GL. The Ventricular-Arterial Coupling: From Basic Pathophysiology to Clinical Application in the Echocardiography Laboratory. *J Cardiovasc Echogr.* 2013 Oct-Dec; 23(4): 91-95. doi: 10.4103/2211-4122.127408
- Yano M, Kohno M, Konishi M, Obayashi M, Kobayashi S, Seki K, et al. Effect of aortic impedance on preload-afterload mismatch in canine hearts in situ. *Basic Res Cardiol.* 1997 Apr; 92(2): 115-22. doi: 10.1007/BF00805572
- Berger DS, Robinson KA, Shroff SG. Wave propagation in coupled left ventricle-arterial system. Implications for aortic pressure. *Hypertension.* 1996 May; 27(5): 1079-89. doi: 10.1161/01.hyp.27.5.1079
- Kloutz RJ, Teitel DF, Steendijk P, van Bel F, Baan J. Interaction between afterload and contractility in the newborn heart: evidence of homeometric autoregulation in the intact circulation. *J Am Coll Cardiol.* 1995 May; 25(6): 1428-35. doi: 10.1016/0735-1097(94)00562-5
- Suga H, Sagawa K, Kostiuk DP. Controls of ventricular contractility assessed by pressure-volume ration, Emax. *Cardiovasc Res.* 1976 Sep; 10(5): 582-92. doi: 10.1093/cvr/10.5.582
- Little WC, Pu M. Left ventricular-arterial coupling. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009; 22: 1246-48. doi: 10.1016/j.echo.2009.09.023
- Feldman MD, Pak PH, Wu CC, Haber HL, Heesch CM, Bergin JD, et al. Acute cardiovascular effects of OPC-18790 in patients with congestive heart failure. Time- and dose-dependence analysis based on pressure-volume relations. *Circulation.* 1996 Feb; 93(3): 474-83. doi: 10.1161/01.cir.93.3.474
- Chen CH, Nakayama M, Nevo E, Fetters BJ, Maughan WL, Kass DA. Coupled systolic-ventricular and vascular stiffening with age: implications for pressure regulation and cardiac reserve in the elderly. *J Am Coll Cardiol.* 1998 Nov; 32(5): 1221-27. doi: 10.1016/s0735-1097(98)00374-x
- Pak PH, Maughan WL, Baughman KL, Kieval RS, Kass DA. Mechanism of acute mechanical benefit from VDD pacing in hypertrophied heart: similarity of responses in hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive heart disease. *Circulation.* 1998 Jul; 98(3): 242-48. doi: 10.1161/01.cir.98.3.242
- Kiani A, Gilani Shakibi J. Normal Value of Left Ventricular End-Systolic Elastance in Infants and Children. *Iranian Journal of Medical Sciences.* 2015; 28(4): 169-72.
- Khosroshahi HE, Ozkan EA, Kilic M. Arterial and left ventricular end-systolic elastance in normal children. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2014; 18(21): 3260-66.
- Kameyama T, Asanoi H, Ishizaka S, Sasayama S. Ventricular load optimization by unloading therapy in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1991 Jan; 17(1): 199-207. doi: 10.1016/0735-1097(91)90728-r
- Chen CH, Fetters B, Nevo E, Rochitte CE, Chiou KR, Ding PA, et al. Noninvasive single-beat determination of left ventricular end-systolic elastance in humans. *J Am Coll Cardiol.* 2001 Dec; 38(7): 2028-34. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01651-5
- Struijk PC, Mathews VJ, Loupas T, Stewart PA, Clark EB, Steegers EAP, et al. Blood pressure estimation in the human fetal descending aorta. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008 Oct; 32(5): 673-81. doi: 10.1002/uog.6137
- De Tombe PP, Jones S, Burkhoff D, Hunter WC, Kass DA. Ventricular stroke work and efficiency both remain nearly optimal despite altered vascular loading. *Am J Physiol.* 1993 Jun; 264(6 Pt 2): H1817-24. doi: 10.1152/ajpheart.1993.264.6.H1817
- Borlaug BA, Kass DA. Ventricular-vascular interaction in heart failure. *Heart Fail Clin.* 2008 Jan; 4(1): 23-36. doi: 10.1016/j.hfc.2007.10.001
- Ohte N, Cheng CP, Little WC. Tachycardia exacerbates abnormal left ventricular-arterial coupling in heart failure. *Heart Vessels.* 2003 Jul; 18(3): 136-41. doi: 10.1007/s00380-003-0697-9