

## Исследование кинетики миокарда в клинической практике: нормативные показатели деформации, ротации, скручивания

Н.Ю. Черных, О.С. Грознова, М.И. Довгань

ОСП «Научно-исследовательский клинический институт педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева» ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ, Москва

## Investigation of myocardial kinetics in clinical practice: Reference values of deformity, rotation, and torsion

N.Yu. Chernykh, O.S. Groznova, M.I. Dovgan

Academician Yu.E. Veltishchev Research Clinical Institute of Pediatrics, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

Современные методы эхокардиографического обследования знакомы большинству кардиологов — это изучение деформации, ротации, скручивания миокарда и пр. Однако не все практикующие специалисты представляют себе возможности внедрения в клиническую практику результатов этих современных обследований. Внедрение затрудняет отсутствие платформонезависимых технологий и нормативных данных в разных возрастных диапазонах, а также высокий удельный вес субъективизма исследователя при съеме данных. В статье приводятся особенности методики проведения эхокардиографического исследования для анализа показателей, нижняя граница нормативов по деформации миокарда (продольной, поперечной, циркулярной), ротации, скручиванию с учетом различий по полу, возрасту и т.д., а также особенности изменения исследуемых показателей при основных группах заболеваний миокарда.

**Ключевые слова:** деформация, ротация, скручивание, кинетика миокарда, нормативы.

Most cardiologists are familiar with current echocardiographic techniques — the latter study myocardial deformity, rotation, torsion, etc. However, not all practitioners realize the possibility of introducing the results of these current examinations into clinical practice. The introduction is hampered by a lack of platform-independent technologies and reference values in different age ranges and an investigator's high subjectivism during data extraction. The paper presents the specific features of an echocardiographic procedure for analyzing the values and lower normal limit for myocardial (longitudinal, lateral, and circular) deformity, rotation, torsion with consideration for differences in gender, age, etc., as well as the specific features of changes in the study indicators in the main groups of myocardial diseases.

**Keywords:** myocardial deformity, rotation, torsion, kinetics, reference values.

За жизнь человека сердце сокращается 2–3 миллиарда раз. С древних времен этот орган притягивал внимание мыслителей и исследователей, поскольку считался одной из основ человеческой жизни. Еще в XVI веке кинетика миокарда попадала в сферу интересов такого великого человека, как Леонардо да Винчи [1]. Позднее, уже в XVII в., процесс сокращения сердца более подробно изучил Ричард Лоуэр [2], сравнивая его с выжиманием льняного полотна. К сожалению, в древности знания о кинетике миокарда человека в основном были получены при аутопсиях, а также отчасти исследовались во время жертвоприношений, казней и на животных моделях. Увидеть работу сердца у живого человека было

практически невозможно. Но ученые во все времена стремились знать больше.

Прогресс в области медицины ошутимо связан с технологическими достижениями. Внедрение ультразвуковой диагностики как неинвазивного метода визуализации органов, тканей и сосудов стало важным событием в истории медицины. Ультразвуковые аппараты, напоминающие современные приборы (с цветной и доплеровской визуализацией), появились относительно недавно — в конце 80-х гг. прошлого столетия, а трехмерная визуализация вошла в практическую медицину только в начале XXI в. Тогда казалось чудом увидеть работу живого сердца. Сейчас диагностические приборы экспертного класса в определенных функциях сопоставимы по своей информативности с магнитно-резонансными томографами, при этом они обладают большей доступностью, мобильностью, простотой проведения исследования и меньшей стоимостью.

Еще десятилетие назад в определении регионарной систолической функции левого желудочка мы ориентировались в основном на визуальную оценку движения стенок и изменения объема. В настоящее время большинство практикующих кардиологов знают

© Коллектив авторов, 2016

*Ros Vestn Perinatol Pediat* 2016; 4:32–36

DOI: 10.21508/1027-4065-2016-61-4-32-36

Адрес для корреспонденции: Черных Надежда Юрьевна — аспирантка РНИМУ им. Н.И. Пирогова

Грознова Ольга Сергеевна — д.м.н., вед. н.с. отдела детской кардиологии и аритмологии НИКИ педиатрии

Довгань Михаил Иванович — врач отделения лучевой диагностики того же института.

125412 Москва, ул. Талдомская, д. 2

о новых видах эхокардиографического обследования, но еще не знакомы со всеми возможностями внедрения в клиническую практику их результатов. Такое положение дел должно измениться.

### Методика обследования

В 2010 г. Европейская эхокардиографическая ассоциация (ЕАЕ) и Американская эхокардиографическая ассоциация (АСЕ) призвали все заинтересованные стороны прийти к консенсусу по поводу стандартизации технических средств проведения оценки кинетики миокарда, нормативных показателей деформации миокарда и минимизации субъективизма исследователя при выполнении обследования [3]. Результатом этих усилий явился технический документ, опубликованный в 2015 г. [4]. Он стандартизирует методы программного обеспечения, методику съема данных и прочие технические моменты, необходимые для оценки кинетики миокарда, однако не дает нормативов показателей.

Что же нового позволяет нам узнать ультразвуковая и доплеровская диагностика состояния сердца? Современные методы ультразвуковой диагностики в кардиологии помогают перейти от глобальной оценки функции левого желудочка (фракция выброса, конечный диастолический диаметр, масса миокарда и пр.) к фокусной оценке. Она особенно важна при наличии очаговых изменений (ишемическая болезнь сердца, очаги фиброза, очаговая гипертрофия миокарда, опухоли сердца и т.д.).

В настоящее время для фокусной оценки кинетики миокарда наиболее широко используется метод speckle tracking, который позволяет проследить движение уникальных мультиточечных последовательностей на экране прибора. Данный метод более точно отображает сократимость миокарда (в сравнении с тканевым доплером) и может применяться при двухмерной и трехмерной визуализации. Трехмерная визуализация имеет ряд неоспоримых преимуществ: возможность получать срезы по коротким и длинным осям левого желудочка одновременно, что снижает субъективность исследования. В то же время метод имеет недостатки [5, 6] — в основном это худшая визуализация по сравнению с двухмерным исследованием, поскольку необходим одновременный анализ больших объемов информации. Однако этот недостаток, скорее всего, будет преодолен в ближайшем будущем. Вторым условным недостатком трехмерного исследования в режиме speckle tracking является трудность адекватного съема коротких осей при индивидуальных позиционных особенностях сердца или аномальной геометрии левого желудочка (при выраженной спиральной структурированности, конической форме, угловых смещениях и т.п.), что нередко встречается при органических поражениях сердца (пороки, очаговая гипертрофия и прочие виды ремоделирования). В связи с вышесказанным метод

двухмерного speckle tracking находит более широкое применение. До настоящего времени его внедрение в широкую клиническую практику тормозит отсутствие платформонезависимых технологий и нормативных данных в разных возрастных диапазонах.

Использовать метод speckle tracking можно на приборах, у которых предусмотрено деление левого желудочка на 16 или 18 сегментов. Деление на 17 сегментов не рекомендуется для оценки кинетики миокарда (оценка движения апикальных сегментов будет неадекватной) [4]. Кинетика апикальных сегментов левого желудочка очень трудна в изучении из-за отсутствия унифицированного подхода к делению на сегменты, особенностей хода мышечных волокон (например, петлеобразное), а также из-за неправильной формы сегментов (в основном она треугольная).

Метод speckle tracking позволяет получить данные о деформации миокарда: продольной, поперечной и циркулярной. Эта деформация оценивается посегментарно, а также в субэндокардиальной и субэпикардиальной частях миокарда. Помимо сегментарной, имеется возможность оценить глобальную деформацию по каждому из перечисленных видов (продольной, поперечной, циркулярной, субэндокардиальной и субэпикардиальной). Также метод позволяет измерить скорость деформации, величину смещения миокарда, ротацию левого желудочка, скорость ротации и дает необходимые данные для расчета угла скручивания миокарда. Методика предоставляет данные о диссинхронии сокращения миокарда. Метод дает возможность оценить функциональное состояние не только левого, но и правого желудочка, для которого рутинное исследование глобальной фракции выброса не является информативно адекватным [7].

Условием получения адекватных результатов служит точное очерчивание контура миокарда со стороны эндо- и эпикарда. Если эндо- и эпикардиальные линии не совпадают с фактическим эндо- и эпикардом, получить точные данные о кинетике миокарда нельзя [4]. Также необходимо четкое выведение осей сердца, причем наибольшее количество ошибок возникает при выведении коротких осей (особенно у верхушки) по сравнению с длинными осями.

### Нормативные показатели

Как оценить полученные данные и как их можно применять в клинической практике? Для ответа на этот вопрос необходимо прежде всего иметь представление о нормативных показателях исследуемых величин. При исследовании глобальной деформации левого желудочка, ротации и скручивания сначала авторы ставили перед собой задачу сбора материала. Поэтому в ранних публикациях (да и настоящее время тоже) в основном приводятся данные о средних показателях деформации миокарда в исследуемых когортах. Как правило, эти цифры достаточно

высокие. Однако для практикующих врачей гораздо большей клинической значимостью обладает информация о нижней границе нормы.

**Деформация миокарда.** У взрослых нижней границей нормы глобальной продольной деформации левого желудочка считаются следующие показатели. Для приборов фирмы General Electric:  $-21,3 \pm 2,1\%$ , для Philips:  $-18,9 \pm 2,5\%$ , для Toshiba:  $-19,9 \pm 2,4\%$  [8]. Сходные данные приводят другие исследователи:  $-20,4 \pm 3,4\%$  [9]. В последних публикациях авторы указывают на гендерные различия, для мужчин нормативные показатели ниже, чем для женщин:  $-16,9$  и  $-18,5\%$  соответственно [10].

Нормативные показатели нижней границы нормы глобальной радиальной деформации левого желудочка у взрослых при двухмерной визуализации составляют  $28\%$  [11]. По данным других исследователей [10], они несколько ниже:  $24,6\%$ . Нижние границы нормативов глобальной циркулярной деформации составляют  $-15,4\%$  [10], по данным других авторов  $-17\%$  [11].

Следует учитывать, что нормативные показатели глобальной продольной деформации с возрастом уменьшаются, в то время как нормативы для циркулярной и радиальной деформации с возрастом увеличиваются. Мужчины имеют меньшие по сравнению с женщинами показатели деформации левого желудочка [10, 11]. Другие авторы согласны с наличием гендерных различий в нормативных показателях не только продольной, но и радиальной, и циркулярной деформации левого желудочка [12].

Нормативные показатели в детской популяции были исследованы на когорте, включавшей более 2325 детей [13]. Авторы не приводят нижние нормативные значения показателей деформации, однако очень выраженный разброс данных (особенно по показателям радиальной и циркулярной деформации) затрудняют их использование для диагностических ориентиров.

**Ротация.** Показатели ротации миокарда оцениваются в базальных, срединных и верхушечных сегментах левого желудочка. Для правильной оценки ротацию следует определять отдельно в субэпикардальном и субперикардальном слоях миокарда, поскольку в этих слоях ротация разнонаправленная — субэндокардиальная часть вращается против часовой стрелки, если смотреть со стороны верхушки сердца, а субперикардальная часть — по часовой стрелке, поэтому ротация верхушки и базального отдела имеет разные знаки (положительная и отрицательная ротация). Глобальные показатели ротации в каждом отделе левого желудочка (базальном, среднем, верхушечном) являются суммой ротаций субперикардального и субэндокардиального слоев. Ротация верхушки всегда больше, чем в базальных отделах. Наименьшие показатели ротации отмечены в средней части левого желудочка.

Нормативные показатели ротации левого желудочка несколько отличаются, по данным разных авторов: в области верхушки левого желудочка ротация составляет  $5,56 \pm 1,98^\circ$ , в базальном отделе  $-3,31 \pm 0,92^\circ$  [14]. По данным других авторов ротация левого желудочка в норме больше: в апикальном отделе составляет  $11,9 \pm 3,0^\circ$ , в базальном отделе  $-5,3 \pm 2,3^\circ$  [15]. Возможно, это связано с более молодым средним возрастом здоровых людей, принявших участие в первом исследовании, — до 45 лет (во втором — до 65 лет). По данным J. Peteiro и соавт. [16], в исследовании в которых участвовали 114 здоровых взрослых добровольцев, апикальная ротация составляет в норме  $7,27 \pm 3,28^\circ$ , а базальная в норме очень низкая —  $-0,65 \pm 2,61^\circ$ . G. Kocabay и соавт. [10] приводят нормальные показатели ротации у здоровых людей в верхушечном отделе  $13,0 \pm 6,5^\circ$ , в базальном отделе —  $6,9 \pm 3,5^\circ$  при объеме выборки 247 человек в возрасте от 18 до 80 лет (средний возраст 44 года). В последнем исследовании обращают на себя внимание большие границы доверительных интервалов. У детей от 12 до 18 лет показатели базальной ротации составляют  $-4,85 \pm 1,9^\circ$ , апикальной —  $7,33 \pm 2,8^\circ$  при объеме выборки в данном исследовании 42 человека [17].

Процесс **скручивания** миокарда известен очень давно. Впервые на скручивание сердца во время сердечного сокращения обратил внимание еще Леонардо да Винчи. В наше время данный процесс продолжает активно изучаться. Ему отводится большая роль в повышении производительности сердечной мышцы. Нормативные показатели для скручивания, приводимые различными авторами, сильно варьируют: от  $8,87 \pm 2,21^\circ$  [14] до  $13,2 \pm 0,9^\circ$  [18, 19] и  $20,0 \pm 7,3^\circ$  [10]. Есть данные о расовых различиях. Так, монголоидная раса имеет самые высокие показатели скручивания миокарда, афро-американцы — самые низкие, а европеоидная раса — средние показатели [20]. Практически все авторы единодушно отмечают тот факт, что с возрастом у людей скручивание миокарда увеличивается пропорционально увеличению длины левого желудочка. Для детской популяции нормативные показатели скручивания миокарда не определены.

Разница в трактовке нормативных величин деформации, ротации и скручивания левого желудочка настолько бросается в глаза, что в настоящее время даются нормы на приборы различных производителей [8, 21], а несоответствия в разных публикациях открыто обсуждаются в медицинской литературе [22, 23]. Встречаются публикации нормативных значений деформации и ротации левого желудочка, которые даже близко не совпадают (иногда по знаку) с общеобсуждаемыми величинами [24].

#### Патологические варианты кинетики миокарда

Как правило, очаговые процессы, протекающие в сердечной мышце (участки ишемии, инфаркты миокарда, постинфарктные рубцы, очаги фиброза, очаги

гипертрофии, опухолевые образования, изменения при болезнях накопления, амилоидозе, воспалительные изменения и пр.), сопровождаются фокусным изменением показателей кинетики миокарда в основном в сторону снижения. Именно поэтому для трактовки адекватности «работы» миокарда необходимо установить нижние нормы показателей деформации, ротации и скручивания. Локальный патологический процесс не обязательно будет сопровождаться нарушением глобальных показателей функции всего левого (правого) желудочка. Он может быть локализован на уровне сегмента (сегментов). При этом фокусная оценка приобретает особую актуальность.

При патологических процессах в сердечной мышце, сопровождающихся замещением миокарда другой тканью, не способной к сокращению, все показатели кинетики миокарда в пораженных сегментах снижаются. При дилатационной кардиомиопатии также происходит снижение всех показателей кинетики [22]. Однако при гипертрофической кардиомиопатии данные различных исследований зачастую прямо противоположные [22, 25, 26]. Возможно, это объясняется крайней фенотипической гетерогенностью гипертрофических кардиомиопатий. При некомпактном миокарде также

вопрос кинетики пораженных сегментов представляется неоднозначным [27].

Большое значение исследование кинетики миокарда приобретает у детей со сложными пороками сердца (особенно единственным желудочком, гипоплазией камер сердца и т.п.), которым предстоит оперативное вмешательство, а также для оценки эффективности проведенного оперативного лечения сложных пороков, стенозов клапанов, стеноза аорты, трансплантации сердца и пр. [28–30]. Особенную актуальность исследование приобретает у новорожденных, поскольку трансэзофагеальная 3D-визуализация у них затруднительна.

## Заключение

Новые, современные, неинвазивные доступные методы обследования в кардиологии, к которым относится ультразвуковое исследование кинетики миокарда, дают врачу большое количество дополнительных возможностей, однако требуют усилий по адекватной интерпретации данных. Облегчить понимание новой информации позволяет ориентация в нормативных показателях исследуемых величин, которые приведены в данной статье.

## ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. Keele K.D. Leonardo da Vinci's Corpus of Anatomical Studies. *Hist Med* 1980; 8: 4–5.
2. Lower R. Tractus de corde. In: *Early Science in Oxford*. R.T. Gunter (ed.). Oxford, London, UK: Sawsons, Pall Mall, 1968; 1169.
3. Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P. et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 167–205.
4. Voigt J.-U., Pedrizzetti G., Lysyansky P. et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 1: 1–11.
5. Forsha D., Risum N., Rajagopal S. The influence of angle of insonation and target depth on speckle-tracking strain. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28: 5: 580–586.
6. Faletta F.F., Ramamurthi A., Dequarti M.C. et al. Artifacts in three-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27: 5: 453–462.
7. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J. et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: A report from the American society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 685–713.
8. Takigiku K., Takeuchi M., Izumi C. et al. Normal Range of Left Ventricular 2-Dimensional Strain. Japanese Ultrasound Speckle Tracking of the Left Ventricle Study. *Circ J* 2012; 76: 11: 2623–2632.
9. Sun J.P., Pui-Wai Lee A., Wu C. et al. Quantification of Left Ventricular Regional Myocardial Function Using Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography in Healthy Volunteers- A Multi-Center Study. *Int J Cardiol* 2013; 167: 2: 495–501.
10. Kocabay G., Muraru D., Peluso D. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. Reference values in healthy adults. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* 2014; 67: 8: 651–658.
11. Muraru D., Cucchini U., Mihăilă S. et al. Left ventricular myocardial strain by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in healthy subjects: reference values and analysis of their physiologic and technical determinants. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27: 8: 858–871.
12. Kleijn S.A., Pandian N.G., Thomas J.D. et al. Normal reference values of left ventricular strain using three-dimensional speckle tracking echocardiography: results from a multicentre study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 4: 410–416.
13. Levy P.T., Macheffsky A., Sanchez A.A. et al. Reference Ranges of Left Ventricular Strain Measures by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2016; 29: 3: 209–225.
14. Maharaj N., Peters F., Khandheria B.K. et al. Left ventricular twist in a normal African adult population. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013; 14: 6: 526–533.
15. Weiner R.B., Weyman A.E., Kim J.H. et al. The impact of isometric handgrip testing on left ventricular twist mechanics. *J Physiol* 2012; 590: Pt 20: 5141–5150.
16. Peteiro J., Bouzas-Mosquera A., Barge-Caballero G. et al. Left ventricular torsion during exercise in patients with and without ischemic response to exercise echocardiography. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* 2014; 67: 9: 706–716.
17. Di Maria M.V., Caracciolo G., Prashker S. et al. Left ventricular rotational mechanics before and after exercise in children. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27: 12: 1336–1343.
18. Zhang L., Xie M., Fu M. et al. Assessment of age-related changes in left ventricular twist by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci* 2007; 27: 6: 691–695.

19. Zhang Y., Zhou Q.C., Pu D.R. et al. Differences in left ventricular twist related to age: speckle tracking echocardiographic data for healthy volunteers from neonate to age 70 years. *Echocardiography* 2010; 27: 10: 1205–1210.
20. Venkatesh B.A., Donekal S., Yoneyama K. et al. Regional myocardial functional patterns: Quantitative tagged magnetic resonance imaging in an adult population free of cardiovascular risk factors: The multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *J Magn Reson Imaging* 2015; 42: 1: 153–159.
21. Koopman L.P., Slorach C., Hui W. et al. Comparison between different speckle tracking and color tissue Doppler techniques to measure global and regional myocardial deformation in children. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 9: 919–928.
22. Phillips A.A., Cote A.T., Bredin S.S., Warburton D.E. Heart disease and left ventricular rotation — a systematic review and quantitative summary. *BMC Cardiovasc Disord* 2012; 12: 46: doi: 10.1186/1471-2261-12-46.
23. Stewart G.M., Yamada A., Kavanagh J.J. et al. Reproducibility of Echocardiograph-Derived Multilevel Left Ventricular Apical Twist Mechanics. *Echocardiography* 2016; 33: 2: 257–263.
24. Arab-Baferani Z., Mokhtari-Dizaji M., Roshanali F. Extraction of left-ventricular torsion angle from the long-axis view by block-matching algorithm: Comparison with the short-axis view. *Ultrasonics* 2013; 53: 2: 552–560.
25. Chang S.A., Kim H.K., Kim D.H. et al. Left ventricular twist mechanics in patients with apical hypertrophic cardiomyopathy: assessment with 2D speckle tracking echocardiography. *Heart* 2010; 96: 1: 49–55.
26. Pacileo G., Baldini L., Limongelli G. et al. Prolonged left ventricular twist in cardiomyopathies: a potential link between systolic and diastolic dysfunction. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 11: 841–849.
27. Miszalski-Jamka K., Taylor M., Glowacki J. et al. Left ventricular twist abnormalities in patients with left ventricular non-compaction. A cardiovascular magnetic resonance study. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: Suppl 1: 143.
28. Singh G.K., Cupps B., Pasque M. et al. Accuracy and Reproducibility of Strain by Speckle Tracking in Pediatric Subjects with Normal Heart and Single Ventricular Physiology: A 2D Speckle Tracking Echocardiography and Magnetic Resonance Imaging Correlative Study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 11: 1143–1152.
29. To A.H., Lai C.T., Wong S.J., Cheung Y.F. Right Atrial Mechanics Long-Term after Biventricular Repair of Pulmonary Atresia or Stenosis with Intact Ventricular Septum. *Echocardiography* 2016; 33: 4: 586–595.
30. Buddhe S., Richmond M.E., Gilbreth J., Lai W.W. Longitudinal Strain by Speckle Tracking Echocardiography in Pediatric Heart Transplant Recipients. *Congenit Heart Dis* 2015; 10: 4: 362–370.
31. Takeuchi M., Nakai H., Kokumai M. et al. Age-related changes in left ventricular twist assessed by two-dimensional speckle-tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 1077–1084.
32. Zhang H-J, Wang H., Sun T. et al. Assessment of left ventricular twist mechanics by speckle tracking echocardiography reveals association between LV twist and myocardial fibrosis in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging* 2014; 30: 8: 1539–1548.

Поступила 21.04.16