



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com

**Annales de
cardiologie
et d'angéologie**

Annales de Cardiologie et d'Angéologie 66 (2017) 303–308

Mise au point

Apport du Doppler tissulaire spectral (rapport E/e') dans la prise en charge des patients en fibrillation auriculaire

Usefulness of spectral tissue Doppler (E/e' ratio) in the management of patients with atrial fibrillation

S. Arques*, E. Roux

Service de cardiologie, centre hospitalier Edmond-Garcin, avenue des Soeurs-Gastine, 13400 Aubagne, France

Reçu le 22 mai 2017 ; accepté le 12 septembre 2017

Disponible sur Internet le 9 octobre 2017

Résumé

La fibrillation auriculaire est l'arythmie cardiaque la plus fréquemment observée en pratique quotidienne. Elle est grevée d'une morbi-mortalité importante, en particulier de mort subite, d'insuffisance cardiaque et d'accident vasculaire cérébral. La validation de marqueurs non invasifs dans le diagnostic de l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée et dans la stratification du risque apparaît intéressante dans ce contexte. L'indice E/e' en Doppler tissulaire spectral a été validé dans l'estimation des pressions de remplissage du ventricule gauche indépendamment du rythme cardiaque. Une valeur de E/e' septal > 11 est rapportée comme prédictive d'une pression diastolique ventriculaire gauche > 15 mmHg chez les patients en fibrillation auriculaire. De plus, plusieurs études ont rapporté la pertinence clinique de sa mesure au repos comme à l'effort dans le diagnostic et le pronostic de l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée chez les patients en arythmie. Cet indice offre parallèlement une information pronostique essentielle chez les patients en fibrillation auriculaire. Enfin, une valeur pathologique de E/e' est prédictive de récurrence de la fibrillation auriculaire après cardioversion ou procédure d'ablation. En conclusion, nous recommandons la mesure de E/e' chez tous les patients en fibrillation auriculaire bénéficiant de la réalisation d'une échocardiographie Doppler transthoracique.

© 2017 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Fibrillation auriculaire ; Doppler tissulaire ; Insuffisance cardiaque ; Accident vasculaire cérébral ; Pronostic

Abstract

Atrial fibrillation is the most common cardiac rhythm disorder encountered in daily clinical practice. It carries high morbidity and mortality rates, mainly related to sudden death, heart failure and stroke. Validation of noninvasive markers in the diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction and risk stratification is therefore attractive in this clinical setting. The spectral tissue Doppler-derived E/e' ratio is a simple and user-friendly index which has been validated in the assessment of left ventricular diastolic pressures, regardless of rhythm. A septal E/e' > 11 is associated with invasive left ventricular diastolic pressures > 15 mmHg in patients with atrial fibrillation. Several studies have reported the clinical relevance of abnormal values of E/e' at rest and during exercise in the diagnosis and risk stratification of heart failure with preserved ejection fraction in patients with atrial fibrillation. There is now convincing evidence that increased E/e' is associated with adverse outcome in patients with atrial fibrillation and predicts the recurrence of arrhythmia after cardioversion or catheter ablation. In conclusion, we recommend the measurement of E/e' in each patient with atrial fibrillation referred for clinically indicated transthoracic Doppler echocardiography.

© 2017 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Atrial fibrillation; Tissue Doppler imaging; Heart failure; Stroke; Prognosis

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : sarques@ch-aubagne.fr (S. Arques).

La fibrillation auriculaire (FA) est l'arythmie cardiaque la plus fréquemment observée en pratique quotidienne. Malgré les progrès effectués dans sa prise en charge diagnostique et thérapeutique, cette pathologie reste une des causes les plus fréquentes de morbi-mortalité cardiovasculaire, en particulier d'accident vasculaire cérébral, d'insuffisance cardiaque et de mort subite [1]. Cette affection touche principalement le sujet âgé, et sa prévalence est en constante augmentation, avoisinant les 3 % de la population âgée de plus de 20 ans. L'augmentation de sa prévalence est liée à une meilleure détection de la FA silencieuse, le vieillissement de la population et l'accroissement des pathologies favorisant sa survenue [1]. La validation de paramètres à même de diagnostiquer la coexistence d'une insuffisance cardiaque, en particulier à fraction d'éjection préservée, et de prédire la survenue d'une complication ou d'une récurrence après cardioversion ou ablation, apparaît donc d'une importance primordiale dans ce contexte.

La mesure du rapport E/e' en Doppler tissulaire spectral est une méthode validée et largement employée en pratique courante dans l'évaluation des pressions de remplissage ventriculaire gauche en échocardiographie Doppler transthoracique [2]. E/e' serait ainsi à la fonction diastolique ventriculaire gauche ce que la fraction d'éjection est à la fonction systolique. La mise en évidence d'une dysfonction diastolique modérée à sévère est un paramètre fondamental dans le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée et est associée à un sur-risque de mortalité [3,4]. Dans ce contexte, le rapport E/e' a été validé dans le diagnostic de l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée et la stratification du risque chez les patients en rythme sinusal. En revanche, son intérêt clinique est largement méconnu chez les patients en FA [1,5]. Le but de cette mise au point est donc d'évaluer la pertinence diagnostique et pronostique du rapport E/e' chez les patients en FA en pratique clinique.

1. Validité du rapport E/e' dans l'évaluation des pressions de remplissage ventriculaire gauche en FA

La validité du rapport E/e' en Doppler tissulaire dans l'estimation des pressions de remplissage ventriculaire gauche repose sur le fait que la vitesse E mitrale est principalement déterminée par la pression dans l'oreillette gauche et par la relaxation ventriculaire gauche, et que la vitesse e' mesurée en Doppler tissulaire spectral à l'anneau mitral reflète essentiellement la relaxation ventriculaire gauche. Le rapport entre ces deux variables permet donc en théorie de s'affranchir de l'influence de la fonction diastolique et de refléter la pression auriculaire gauche [6]. De nombreuses études ont confirmé l'existence d'une corrélation significative entre E/e' et les pressions de remplissage ventriculaire gauche chez les patients en rythme sinusal, indépendamment de la valeur de fraction d'éjection [6–8]. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que cette corrélation, bien que significative sur le plan statistique, reste modeste et que le rapport E/e' ne permet à ce titre qu'une évaluation semi-quantitative des pressions de remplissage ventriculaire gauche [6–8]. Il est important de préciser que pour un patient donné, la valeur de E/e' en position septale est légèrement

supérieure à sa mesure latérale [6]. Certaines limites à cette méthode doivent être connues. La mesure de E/e' n'est pas valide dans l'estimation des pressions de remplissage ventriculaire gauche en présence d'une valvulopathie mitrale ou de troubles de cinétique segmentaire à la base du ventricule gauche liés à un infarctus, un bloc de branche gauche, un rythme électro-entraîné ou un pontage aortocoronaire [6].

Plusieurs travaux ont évalué spécifiquement la validité de cet indice dans l'estimation des pressions diastoliques ventriculaires gauches chez les patients en FA. Dans l'étude de référence de Sohn et al. portant sur 27 patients en FA chez lesquels les mesures Doppler et invasives ont été réalisées de façon simultanée, e' mesuré à l'anneau mitral septal était significativement et inversement corrélé à τ ($r = -0,51$, $p < 0,01$), et E/e' septal reflétait de façon satisfaisante les pressions de remplissage ventriculaire gauche ($r = 0,79$, $p < 0,001$) [9]. Un rapport E/e' septal > 11 avait une sensibilité et une spécificité respectives de 75 et 93 % dans la détection d'une pression diastolique ventriculaire gauche > 15 mmHg. Cinq travaux plus récents (198 patients au total) ont confirmé l'existence d'une corrélation significative entre E/e' et la pression diastolique ventriculaire gauche chez les patients en FA (r de 0,404 à 0,765, $p < 0,05$), quelque soit le site de mesure de e' , latéral ou septal, et la valeur de fraction d'éjection [10–14]. De meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant une mesure simultanée des vitesses E et e' , ce qui suppose qu'une des principales limites de E/e' dans la FA est l'irrégularité des cycles qui impacte sur les valeurs de E et e' [11,12]. Néanmoins, cette technologie de mesure simultanée des vitesses en Doppler pulsé et en Doppler tissulaire spectral n'est pas disponible sur la majorité des échographes actuels. En conclusion, E/e' (septal, latéral ou moyenné) reste valide dans l'analyse semi-quantitative des pressions de remplissage ventriculaire gauche chez les patients en FA, sous réserve de moyenniser plusieurs cycles consécutifs en l'absence de mesure simultanée de E et e' .

2. Intérêt de E/e' dans le diagnostic et le pronostic de l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée en présence d'une FA

Le diagnostic d'insuffisance cardiaque est aisé devant l'association de symptômes et signes cliniques compatibles avec le diagnostic et d'une altération franche de la fonction systolique ventriculaire gauche à l'échocardiographie Doppler transthoracique. Néanmoins, la moitié des patients souffrant d'insuffisance cardiaque ont une fonction systolique ventriculaire gauche relativement préservée ou normale [6]. Chez ces patients, le diagnostic d'insuffisance cardiaque est difficile et requiert l'évaluation de la fonction diastolique ventriculaire gauche. Le rapport E/e' est d'une aide précieuse dans le diagnostic et le pronostic de l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée chez les patients en rythme sinusal, quelque soit le mode de présentation clinique [6,15–17]. Quelques études se sont attachées à évaluer l'intérêt de E/e' chez les patients en FA, alors que cette co-morbidité s'avère fréquente dans ce contexte clinique [18].

Une première étude a évalué spécifiquement l'intérêt du rapport E/e' dans le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée chez les patients en FA se présentant avec une dyspnée aiguë [19]. Quarante et un patients consécutifs avec fraction d'éjection > 50 % ont été inclus, et un rapport E/e' septal > 13 avait une sensibilité et une spécificité respectives de 82 et 89 % dans le diagnostic d'insuffisance cardiaque aiguë. E/e' offrait une information diagnostique indépendante de la clinique et de la valeur de BNP. Ces résultats sont concordants avec ceux obtenus chez les patients en rythme sinusal [6]. Un travail a par la suite confirmé ces premiers résultats chez 73 patients en stade I à IV de la classification NYHA [20]. Un rapport E/e' septal > 11,7 avait une sensibilité et une spécificité respectives de 87 et 93 % dans le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée.

De façon notable et concordante, le rapport E/e' est inversement et indépendamment corrélé à la capacité fonctionnelle chez les patients en FA, suggérant de ce fait qu'une valeur pathologique de E/e' au repos et/ou à l'effort permet de confirmer le diagnostic d'insuffisance cardiaque en cas de dyspnée d'effort isolée et de fraction d'éjection préservée [21–24]. Dans une étude de Lee et al. incluant 73 patients en FA, le rapport E/e' septal était en analyse multivariée un paramètre prédictif indépendant de la capacité fonctionnelle à l'effort ($p=0,03$), avec l'âge ($p=0,006$) et la fréquence cardiaque de repos ($p=0,03$) [21]. Dans un travail qui portait sur 50 patients en FA avec fraction d'éjection > 50 %, E/e' (septal, latéral et moyenné) était inversement corrélé au test de marche et au questionnaire de qualité de vie [22]. Dans une étude incluant 94 patients en FA avec fraction d'éjection préservée, l'analyse multivariée révélait qu'un rapport E/e' latéral > 9 au repos était indépendamment associé à une diminution de la VO₂ max ($p<0,001$), avec l'âge ($p=0,006$) et le sexe féminin ($p=0,001$) [23]. Dans un second travail incluant 145 patients en FA avec fraction d'éjection > 50 % et rapport E/e' latéral normal < 9 à l'état basal, un rapport E/e' latéral à l'exercice > 9 était associé de façon indépendante à une diminution de la VO₂ max. ($p<0,001$), avec l'âge ($p=0,001$) et le sexe féminin ($p=0,001$) [24]. Ces résultats sont concordants avec ceux observés avec un rapport E/e' septal > 10 chez les patients en rythme sinusal [6].

Dans un travail portant sur 148 patients avec insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée en FA, le rapport E/e' septal > 15 était un paramètre prédictif de survenue de décès cardiovasculaire, de récurrence d'insuffisance cardiaque et d'accident vasculaire cérébral, avec une sensibilité de 50 % et une spécificité de 78 % (aire sous la courbe ROC de 0,65, $p<0,01$) [25]. En conclusion, la mise en évidence d'une valeur pathologique de E/e' à l'état basal ou à l'exercice offre une aide au diagnostic et au pronostic dans l'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée chez les patients en FA.

3. Valeur pronostique de E/e' chez les patients en FA

Le rapport E/e' offre une information pronostique importante dans différentes situations cliniques chez les patients en rythme sinusal [26–30]. La FA est associée à un accroissement significatif de la mortalité cardiovasculaire, principalement par le biais

de la mort subite, de l'insuffisance cardiaque et des accidents vasculaires cérébraux [1]. Dans ce contexte, différents travaux ont confirmé l'importance de ce paramètre simple dans la stratification du risque. Trois études ont rapporté la valeur de E/e' dans la prédiction de la mortalité chez les patients en FA. Dans l'étude de référence de Okura et al., 230 patients en FA ont été suivis, et un rapport E/e' septal > 15 était un paramètre prédictif indépendant de mortalité ($p=0,03$), avec l'âge ($p=0,02$) [31]. Dans un travail plus récent, 488 patients en FA avec fraction d'éjection normale > 50 % ont été inclus. Un rapport E/e' septal > 15 était un marqueur indépendant de mortalité ($p<0,01$), avec l'hémoglobine ($p<0,001$) [32]. Dans une étude prospective multicentrique portant sur 971 patients en FA, un rapport E/e' moyenné aux sites latéral et septal > 13 était un paramètre indépendant de survenue d'un décès en analyse multivariée ($p=0,03$) [33].

Dans le cadre plus spécifique de l'accident vasculaire cérébral, plusieurs études se sont attachées à évaluer la pertinence de E/e' dans la stratification du risque. Le rapport E/e' est un puissant marqueur de risque de la présence d'un thrombus de l'auricule gauche chez les patients en FA [34–36]. Dans une première étude évaluant 376 patients consécutifs en FA, un rapport E/e' septal > 13 était un paramètre prédictif de la présence d'un thrombus de l'auricule gauche en analyse multivariée ($p=0,02$), avec la fraction d'éjection ($p=0,005$) et la taille de l'oreillette gauche ($p=0,04$) [34]. Dans un travail récent incluant 563 patients consécutifs en FA, le rapport E/e' septal > 12 et latéral > 9,4 étaient de puissants paramètres prédictifs de thrombus intra-auriculaire gauche en analyse multivariée ($p<0,01$), avec une sensibilité dans la détection du thrombus voisine de 100 % pour une spécificité entre 38 et 55 % [36]. Dans l'étude de référence de Lee et al. incluant 330 patients en FA avec fraction d'éjection préservée, le rapport E/e' septal était un paramètre prédictif indépendant de la présence d'un accident vasculaire cérébral en analyse multivariée ($p<0,01$), avec l'hypertension artérielle ($p<0,01$) [37]. Dans une étude ayant observé 1098 patients consécutifs avec FA paroxystique, E/e' septal > 15 était un puissant paramètre prédictif d'accident vasculaire cérébral en analyse multivariée ($p=0,03$) [38]. Dans une série de 171 patients en FA asymptomatiques sur le plan neurologique, le rapport E/e' septal > 12,4 était indépendamment associé à la présence d'infarctus cérébral silencieux à l'IRM ($p=0,001$), avec l'âge ($p=0,025$) [39].

Trois études ont confirmé la valeur pronostique de E/e' dans la prédiction d'événement cardiovasculaire chez les patients en FA. Dans un travail de Su et al., 196 patients en FA ont été suivis de façon prospective [40]. Le rapport E/e' moyenné prédisait de façon indépendante le décès et l'hospitalisation pour insuffisance cardiaque ($p<0,01$). Dans une étude portant sur 190 patients en FA, le rapport E/e' moyenné aux sites septal et latéral prédisait de manière significative les événements cardiovasculaires définis par le décès et l'hospitalisation pour insuffisance cardiaque en analyse univariée ($p<0,001$) [41]. Dans une étude plus récente portant sur 196 patients consécutifs en FA, Chu et al. ont rapporté que le rapport E/e' moyenné aux sites latéral et septal de l'anneau mitral était un paramètre prédictif indépendant de survenue de mort subite, d'accident

vasculaire cérébral ou d'hospitalisation pour insuffisance cardiaque ($p = 0,001$), avec la présence d'une insuffisance cardiaque chronique ($p = 0,002$) et l'index de performance myocardique ($p = 0,004$) [42].

En conclusion, la mesure du rapport E/e' permet de stratifier le risque de survenue d'un événement cardiovasculaire, décès, thrombus de l'oreillette gauche, accident vasculaire cérébral ou insuffisance cardiaque, chez les patients en FA.

4. Prédiction de récurrence de FA après cardioversion ou ablation

Plusieurs études ont démontré l'intérêt du rapport E/e' dans la prédiction de récurrence de la FA après cardioversion. Dans une première étude de Caputo et al., le rapport E/e' latéral prédisait de manière indépendante la récurrence de FA chez 51 patients ayant bénéficié d'une cardioversion électrique ($p = 0,0078$), avec le volume de l'oreillette gauche ($p = 0,04$) [43]. Des résultats confirmatoires ont été apportés chez des patients avec ou sans dilatation importante associée de l'oreillette gauche. Dans un travail portant sur 127 patients avec dilatation importante de l'oreillette gauche, le rapport E/e' septal > 11 prédisait de manière significative la récurrence de FA après cardioversion ($p = 0,001$), avec la durée de l'arythmie avant cardioversion ($p = 0,04$) et la pression artérielle pulmonaire systolique ($p = 0,001$) [44]. Dans une étude incluant 66 patients en FA avec un diamètre de l'oreillette gauche inférieur à 50 mm, le rapport E/e' septal était significativement associé au risque de récurrence de l'arythmie après cardioversion en analyse multivariée ($p = 0,017$), avec le volume de l'oreillette gauche ($p = 0,04$) [45].

L'importance de la pression de l'oreillette gauche comme paramètre prédictif de récurrence de la FA après procédure d'ablation a été récemment confirmée de manière invasive, suggérant ainsi l'utilité en pratique quotidienne de sa mesure non invasive [46,47]. Dans une étude incluant 170 patients ayant bénéficié d'une procédure d'ablation de la FA, la pression de l'oreillette gauche invasive était un puissant paramètre prédictif de récurrence de l'arythmie en analyse multivariée ($p = 0,006$), avec le volume de l'oreillette gauche ($p = 0,007$) [47]. Plusieurs études récentes ont évalué la pertinence du rapport E/e' dans la prédiction de récurrence de la FA après procédure d'ablation. Dans une étude de Li et al., 103 patients consécutifs ont été inclus [48]. Le rapport E/e' mesuré en FA ou après restauration du rythme sinusal était un puissant paramètre prédictif de récurrence de la FA après ablation en analyse multivariée ($p < 0,001$). Un rapport E/e' septal $> 11,2$ mesuré avant ablation avait ainsi une sensibilité et une spécificité respectives de 81 et 82 % dans la prédiction de récurrence de la FA. Ces premiers résultats ont été confirmés chez 198 patients avec FA paroxystique [49]. Un rapport E/e' moyenné > 13 était le seul paramètre échographique associé à la récurrence de l'arythmie. Okamoto et al. ont évalué l'intérêt de E/e' chez 22 patients en FA porteurs d'une cardiomyopathie hypertrophique [50]. Un rapport E/e' septal > 15 prédisait de façon indépendante la récurrence de la FA après ablation ($p = 0,03$). En conclusion, la mesure du rapport E/e' comme estimation non invasive de la pression de l'oreillette gauche permet de stratifier

le risque de récurrence de la FA après procédure de cardioversion ou d'ablation.

5. En pratique

La mesure du rapport E/e' en Doppler tissulaire, septal, latéral ou moyenné, mérite de faire partie intégrante de l'évaluation de tout patient en FA, que ce soit pour porter le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée ou pour stratifier le risque de survenue d'une complication cardiovasculaire ou d'une récurrence après cardioversion ou procédure d'ablation. Il convient de garder à l'esprit que l'adoption d'une valeur seuil plus élevée permet d'améliorer la valeur prédictive positive de la maladie ou de l'événement mais grève en parallèle la valeur prédictive négative.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D, Ahlsson A, Atar D, Casadei B, et al. 2016 ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur Heart J* 2016;37:2893–962.
- [2] Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, Byrd 3rd BF, Dokainish H, Edvardsson T, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:277–314.
- [3] Persson H, Lonn E, Edner M, Baruch L, Lang CC, Morton JJ, et al. Investigators of the CHARM echocardiographic substudy-CHARMES. Diastolic dysfunction in heart failure with preserved systolic function: need for objective evidence: results from the CHARM echocardiographic substudy-CHARMES. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:687–94.
- [4] Halley CM, Houghtaling PL, Khalil MK, Thomas JD, Jaber WA. Mortality rate in patients with diastolic dysfunction and normal systolic function. *Arch Intern Med* 2011;171:1082–7.
- [5] Donal E, Lip GY, Galderisi M, Goette A, Shah D, Marwan M, et al. EACVI/EHRA Expert consensus document on the role of multi-modality imaging for the evaluation of patients with atrial fibrillation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:355–83.
- [6] Arques S, Roux E, Luccioni R. Current clinical applications of spectral tissue Doppler echocardiography (E/E' ratio) as a noninvasive surrogate for left ventricular diastolic pressures in the diagnosis of heart failure with preserved left ventricular systolic function. *Cardiovasc Ultrasound* 2007;5:16.
- [7] Dokainish H, Nguyen JS, Sengupta R, Pillai M, Alam M, Bobek J, et al. Do additional echocardiographic variables increase the accuracy of E/e' for predicting left ventricular filling pressure in normal ejection fraction? An echocardiographic and invasive hemodynamic study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:156–61.
- [8] Andersen OS, Smiseth OA, Dokainish H, Abudiyab MM, Schutt RC, Kumar A, et al. Estimating left ventricular filling pressure by echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2017;69:1937–48.
- [9] Sohn DW, Song JM, Zo JH, Chai IH, Kim HS, Chun HG, et al. Mitral annulus velocity in the evaluation of left ventricular diastolic function in atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:927–31.
- [10] Sénéchal M, O'Connor K, Deblois J, Magne J, Dumesnil JG, Pibarot P, et al. A simple Doppler echocardiography method to evaluate pulmonary capillary wedge pressure in patients with atrial fibrillation. *Echocardiography* 2008;25:57–63.
- [11] Kusunose K, Yamada H, Nishio S, Tomita N, Niki T, Yamaguchi K, et al. Clinical utility of single-beat E/e' obtained by simultaneous recording

- of flow and tissue Doppler velocities in atrial fibrillation with preserved systolic function. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:1147–56.
- [12] Li C, Zhang J, Zhou C, Huang L, Tang H, Rao L. Will simultaneous measurement of E/e' index facilitate the non-invasive assessment of left ventricular filling pressure in patients with non-valvular atrial fibrillation? *Eur J Echocardiogr* 2010;11:296–301.
- [13] Wada Y, Murata K, Tanaka T, Nose Y, Kihara C, Uchida K, et al. Simultaneous Doppler tracing of transmitral inflow and mitral annular velocity as an estimate of elevated left ventricular filling pressure in patients with atrial fibrillation. *Circ J* 2012;76:675–81.
- [14] Ahn J, Kim D, Kim T. Pulmonary arterial systolic pressure and E/e' in the evaluation of left ventricular filling pressure: assessment of patients with atrial fibrillation. *Herz* 2015;40:298–303.
- [15] Kasner M, Westermann D, Steendijk P, Gaub R, Wilkenshoff U, Weitemann K, et al. Utility of doppler echocardiography and tissue doppler imaging in the estimation of diastolic function in heart failure with normal ejection fraction: a comparative doppler-conductance catheterization study. *Circulation* 2007;116:637–47.
- [16] Obokata M, Kane GC, Reddy YN, Olson TP, Melenovsky V, Borlaug BA. Role of diastolic stress testing in the evaluation for heart failure with preserved ejection fraction: a simultaneous invasive-echocardiographic study. *Circulation* 2017;135:825–38.
- [17] Donal E, Lund LH, Oger E, Hage C, Persson H, Reynaud A, et al. New echocardiographic predictors of clinical outcome in patients presenting with heart failure and a preserved left ventricular ejection fraction: a subanalysis of the Ka (Karolinska) Ren (Rennes) Study. *Eur J Heart Fail* 2015;17:680–8.
- [18] Zakeri R, Chamberlain AM, Roger VL, Redfield MM. Temporal relationship and prognostic significance of atrial fibrillation in heart failure patients with preserved ejection fraction: a community-based study. *Circulation* 2013;128:1085–93.
- [19] Arques S, Roux E, Sbragia P, Pieri B, Gelisse R, Luccioni R, et al. Usefulness of bedside tissue Doppler echocardiography and B-type natriuretic peptide (BNP) in differentiating congestive heart failure from noncardiac cause of acute dyspnea in elderly patients with a normal left ventricular ejection fraction and permanent, nonvalvular atrial fibrillation: insights from a prospective, monocenter study. *Echocardiography* 2007;24:499–507.
- [20] Watanabe T, Iwai-Takano M, Oikawa M, Yamaki T, Yaoita H, Maruyama Y. Optimal noninvasive assessment of diastolic heart failure in patients with atrial fibrillation: comparison of tissue doppler echocardiography, left atrium size, and brain natriuretic peptide. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:689–96.
- [21] Lee SH, Jung JH, Choi SH, Lee N, Oh DJ, Ryu KH, et al. Exercise intolerance in patients with atrial fibrillation: clinical and echocardiographic determinants of exercise capacity. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1349–54.
- [22] Punjani S, Wu WC, Cohen S, Sharma SC, Choudhary G. Echocardiographic indices of diastolic function relate to functional capacity and quality of life in ambulatory men with atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:533–40.
- [23] Chen S, He R, Li W, Feng X, Li Z, Chen B, et al. Relationship between E/Em ratio and exercise capacity in patients with atrial fibrillation. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 2014;94:2745–9.
- [24] Chen SM, He R, Li WH, Li ZP, Chen BX, Feng XH. Relationship between exercise induced elevation of left ventricular filling pressure and exercise intolerance in patients with atrial fibrillation. *J Geriatr Cardiol* 2016;13:546–51.
- [25] Shin HW, Kim H, Son J, Yoon HJ, Park HS, Cho YK, et al. Tissue Doppler imaging as a prognostic marker for cardiovascular events in heart failure with preserved ejection fraction and atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:755–61.
- [26] Liang HY, Cauduro SA, Pellikka PA, Bailey KR, Grossardt BR, Yang EH, et al. Comparison of usefulness of echocardiographic Doppler variables to left ventricular end-diastolic pressure in predicting future heart failure events. *Am J Cardiol* 2006;97:866–71.
- [27] Dokainish H, Zoghbi WA, Lakkis NM, Ambriz E, Patel R, Quinones MA, et al. Incremental predictive power of B-type natriuretic peptide and tissue Doppler echocardiography in the prognosis of patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:1223–6.
- [28] Kruszewski K, Scott AE, Barclay JL, Small GR, Croal BL, Møller JE, et al. Noninvasive assessment of left ventricular filling pressure after acute myocardial infarction: a prospective study of the relative prognostic utility of clinical assessment, echocardiography, and B-type natriuretic peptide. *Am Heart J* 2010;159:47–54.
- [29] Sharp AS, Tapp RJ, Thom SA, Francis DP, Hughes AD, Stanton AV, et al. Tissue Doppler E/E' ratio is a powerful predictor of primary cardiac events in a hypertensive population: an ASCOT substudy. *Eur Heart J* 2010;31:747–52.
- [30] Kuwaki H, Takeuchi M, Chien-Chia Wu V, Otani K, Nagata Y, Hayashi A, et al. Redefining diastolic dysfunction grading: combination of E/A ≤ 0.75 and deceleration time > 140 ms and E/e' ≥ 10 . *JACC Cardiovasc Imaging* 2014;7:749–58.
- [31] Okura H, Takada Y, Kubo T, Iwata K, Mizoguchi S, Taguchi H, et al. Tissue Doppler-derived index of left ventricular filling pressure, E/E', predicts survival of patients with non-valvular atrial fibrillation. *Heart* 2006;92:1248–52.
- [32] Park SJ, Lee SC, Jang SY, Chang SA, Choi JO, Park SW, et al. E/e' ratio is a strong prognostic predictor of mortality in patients with non-valvular atrial fibrillation with preserved left ventricular systolic function. *Circ J* 2011;75:2350–6.
- [33] Gupta DK, Giugliano RP, Ruff CT, Claggett B, Murphy S, Antman E, et al. The prognostic significance of cardiac structure and function in atrial fibrillation: the ENGAGE AF-TIMI 48 echocardiographic substudy. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:537–44.
- [34] Iwakura K, Okamura A, Koyama Y, Date M, Higuchi Y, Inoue K, et al. Effect of elevated left ventricular diastolic filling pressure on the frequency of left atrial appendage thrombus in patients with nonvalvular atrial fibrillation. *Am J Cardiol* 2011;107:417–22.
- [35] Doukky R, Garcia-Sayan E, Gage H, Nagarajan V, Demopoulos A, Cena M, et al. The value of diastolic function parameters in the prediction of left atrial appendage thrombus in patients with nonvalvular atrial fibrillation. *Cardiovasc Ultrasound* 2014;12:10.
- [36] Garcia-Sayan E, Patel M, Wassouf M, Pant R, D'Silva O, Kehoe RF, et al. Derivation and validation of E/e' ratio as a parameter in the evaluation of left atrial appendage thrombus formation in patients with nonvalvular atrial fibrillation. *Int J Cardiovasc Imaging* 2016;32:1349–56.
- [37] Lee SH, Choi S, Chung WJ, Byun YS, Ryu SK, Pyun WB, et al. Tissue Doppler index, E/E', and ischemic stroke in patients with atrial fibrillation and preserved left ventricular ejection fraction. *J Neurol Sci* 2008;271:148–52.
- [38] Kim TH, Shim CY, Park JH, Nam CM, Uhm JS, Joung B, et al. Left ventricular diastolic dysfunction is associated with atrial remodeling and risk or presence of stroke in patients with paroxysmal atrial fibrillation. *J Cardiol* 2016;68:104–9.
- [39] Ishikawa S, Sugioka K, Sakamoto S, Fujita S, Ito A, Norioka N, et al. Relationship between tissue Doppler measurements of left ventricular diastolic function and silent brain infarction in patients with non-valvular atrial fibrillation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016; <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jew220> [pii: jew220].
- [40] Su HM, Lin TH, Hsu PC, Lee WH, Chu CY, Lee CS, et al. Incremental prognostic value of identifying mitral L wave in patients with atrial fibrillation. *Int J Cardiol* 2013;168:4501–3.
- [41] Hsu PC, Lee WH, Chu CY, Lee CS, Yen HW, Su HM, et al. The ratio of early mitral inflow velocity to global diastolic strain rate as a useful predictor of cardiac outcomes in patients with atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 2014;27:717–25.
- [42] Chu CY, Lee WH, Hsu PC, Lee HH, Chiu CA, Su HM, et al. Myocardial performance index derived from pre-ejection period as a novel and useful predictor of cardiovascular events in atrial fibrillation. *J Cardiol* 2015;65:466–73.
- [43] Caputo M, Urselli R, Capati E, Navarri R, Sinesi L, Furiozzi F, et al. Usefulness of left ventricular diastolic dysfunction assessed by pulsed tissue Doppler imaging as a predictor of atrial fibrillation recurrence after successful electrical cardioversion. *Am J Cardiol* 2011;108:698–704.
- [44] Fornengo C, Antolini M, Frea S, Gallo C, Grosso Marra W, Morello M, et al. Prediction of atrial fibrillation recurrence after cardioversion in patients with left-atrial dilation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:335–41.

- [45] Chung H, Lee BK, Min PK, Choi EY, Yoon YW, Hong BK, et al. Left ventricular filling pressure as assessed by the E/e' ratio is a determinant of atrial fibrillation recurrence after cardioversion. *Yonsei Med J* 2016;57:64–71.
- [46] Park J, Joung B, Uhm JS, Young Shim C, Hwang C, Hyoung Lee M, et al. High left atrial pressures are associated with advanced electroanatomical remodeling of left atrium and independent predictors for clinical recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation. *Heart Rhythm* 2014;11:953–60.
- [47] Evranos B, Kocyigit D, Gurses KM, Yalcin MU, Sahiner ML, Kaya EB, et al. Increased left atrial pressure predicts recurrence following successful cryoablation for atrial fibrillation with second-generation cryoballoon. *J Interv Card Electrophysiol* 2016;46:145–51.
- [48] Li C, Ding X, Zhang J, Zhou C, Chen Y, Rao L. Does the E/e' index predict the maintenance of sinus rhythm after catheter ablation of atrial fibrillation? *Echocardiography* 2010;27:630–6.
- [49] Hirai T, Cotseones G, Makki N, Agrawal A, Wilber DJ, Barron JT. Usefulness of left ventricular diastolic function to predict recurrence of atrial fibrillation in patients with preserved left ventricular systolic function. *Am J Cardiol* 2014;114:65–9.
- [50] Okamoto H, Ohara T, Kanzaki H, Nakajima I, Miyamoto K, Okamura H, et al. Impact of left ventricular diastolic dysfunction on outcome of catheter ablation for atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Circ J* 2015;79:419–24.