

Κολπική Μαρμαρυγή και Κυματιδιακή Ανάλυση του Ηλεκτρο- καρδιογραφήματος

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Π. ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ

Καθηγητής Καρδιολογίας ΑΠΘ,
Διευθυντής Γ' Πανεπιστημιακής Καρδιολογικής Κλινικής,
Ιπποκράτειο Γενικό Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης

Λέξεις Ευρετηρίου:

Κολπική μαρμαρυγή, ΗΚΓ, Κυματιδιακή ανάλυση

Βασίλειος Π. Βασιλικός MD, FACC, FESC

Καθηγητής Καρδιολογίας ΑΠΘ
Διευθυντής Γ' Πανεπιστημιακής Καρδιολογικής Κλινικής
Ιπποκράτειο Γενικό Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης

Διεύθυνση Επικοινωνίας:

Κωνσταντινουπόλεως 49, Θεσσαλονίκη
Τηλ: +30 6944599868
E-mail: vvassil@med.auth.gr

Η παροξυσμική κολπική μαρμαρυγή είναι η συχνότερα παρατηρούμενη καρδιακή αρρυθμία στην κλινική πράξη και ο αριθμός των ασθενών που πάσχουν από αυτήν αυξάνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο. Παράλληλα, πλήθος στοιχείων συγκλίνουν στο γεγονός ότι η κολπική μαρμαρυγή είναι μία πολυπαραγοντική νόσος καθιστώντας την αντιμετώπισή της πρόκληση για την ιατρική επιστήμη.

Μηχανισμοί όπως η ηλεκτρική και δομική αναδιαμόρφωση της καρδιάς και ιδιαίτερα του αριστερού κόλπου, τα έκτοπα ερεθίσματα από τον εγκλωβισμένο στις πνευμονικές φλέβες μυοκαρδιακό ιστό, οι διαταραχές στην ενδοκυττάρια διακίνηση ιόντων ασβεστίου, αλλά και η γενετική προδιάθεση φαίνεται πως διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην έναρξη, αλλά και την εμφάνιση των υποτροπών της κολπικής μαρμαρυγής. Η εκτίμηση επομένως των ηλεκτροφυσιολογικών ιδιοτήτων του κολπικού μυοκαρδίου με τη χρήση προσιτών, μη επεμβατικών μεθόδων αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση των περίπλοκων μηχανισμών της κολπικής μαρμαρυγής και την περαιτέρω ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισής της. Τέτοιοι απλοί ηλεκτροκαρδιογραφικοί δείκτες, όπως η διάρκεια του επάρματος P, ή το P-wave dispersion με τις ποικίλες παραμέτρους του, έχουν προταθεί εδώ και αρκετά χρόνια ως χρήσιμα εργαλεία για την πρόβλεψη παροξυσμών κολπικής μαρμαρυγής.¹⁻³

Οι μετασχηματισμοί κυματιδίων (wavelet transform) είναι ένα ισχυρό μαθηματικό εργαλείο με πολλές εφαρμογές στην φασματική ανάλυση βιολογικών σημάτων όπως το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ).⁴ Πρόκειται για τον νεότερο και ραγδαία αναπτυσσόμενο κλάδο των μαθηματικών και της επεξεργασίας σήματος. Τα wavelets είναι συναρτήσεις που ικανοποιούν ορισμένες μαθηματικές απαιτήσεις και χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση δεδομένων ή την ανάλυση σημάτων. Η λέξη wavelet μεταφράζεται ως κυματίδιο και σημαίνει μικρό κύμα. Είναι «μικρό» γιατί η συνάρτησή του έχει πεπερασμένο μήκος και είναι "κύμα" γιατί η συνάρτησή του εμφανίζει ταλάντωση.

Η ανάλυση με κυματίδια έχει ως βάση την αποσύνθεση του υπό μελέτη σήματος σε ένα σύνολο από χρονικά μετατοπισμένες και κλιμακωμένες εκδοχές του αρχικού ή μητρικού κυματιδίου. Υπάρχουν αρκετά είδη κυματιδίων τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν ως μητρικά. Ενδεικτικά αναφέρονται το κυματίδιο Haar, το Mexican hat, το Mexer και το Morlet. Στην ανάλυση του ΗΚΓ έχει επικρατήσει η χρήση του κυματιδίου Morlet που όπως φαίνεται από τη γραφική του απεικόνιση, προκύπτει από τον συνδυασμό μια ημιτονοειδούς καμπύλης με μια παραβολική καμπύλη.

Σε σύγκριση με την κλασική ανάλυση Fourier η χρήση του κυματιδίου Morlet εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπει στα στοιχεία χαμηλής συχνότητας, τα οποία συνήθως προσδίδουν στο σήμα τα κύρια χαρακτηριστικά του, να διαχωριστούν από τα υπόλοιπα. Παράλληλα παρέχει μια άριστη διακριτική ικανότητα στο χρόνο για

τα υψηλής συχνότητας στοιχεία, που είναι και αυτά που προσδίδουν τις λεπτές διαφορές στη συμπεριφορά των σημάτων. Με τον τρόπο αυτό η ανάλυση με κυματίδια αποκαλύπτει πληροφορίες τις οποίες χάνουν άλλες προγενέστερες τεχνικές ανάλυσης σήματος.

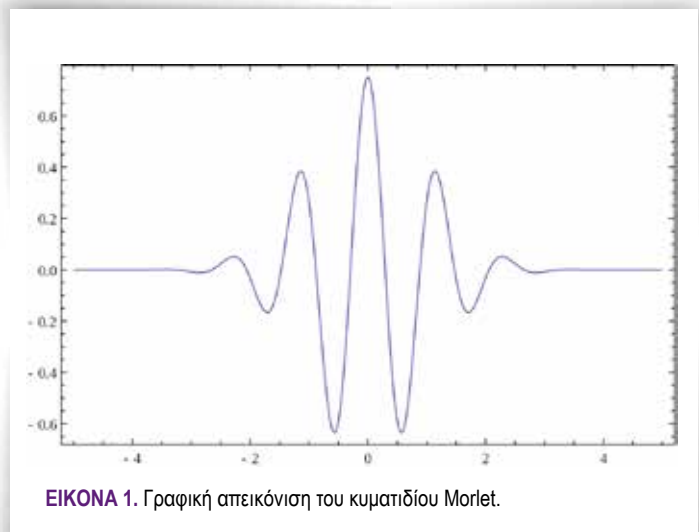
Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής στην κλινική πράξη παρουσιάζει πολλά θετικά χαρακτηριστικά, όπως την δυνατότητα ανίχνευσης χαμηλών σημάτων που «κρύβονται» μέσα σε μεγάλα επάρματα του ΗΚΓ,⁵ ή την ικανότητα να αποκαλύπτει μεταβολές του δυναμικού καθ' όλη τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου.⁶ Έτσι, η μέθοδος αυτή για παράδειγμα, έχει συσχετίσει με επιτυχία τα φασματικά χαρακτηριστικά του ΗΚΓ με την ανταπόκριση σε θεραπεία καρδιακού επανασυγχρονισμού.⁷ Επίσης έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση του heart rate variability (HRV) και τη μελέτη των αλλαγών που προηγούνται της εμφάνισης ενός ισχαιμικού επεισοδίου με κατασπάσεις του διαστήματος ST⁸, αλλά και στην πρόβλεψη αιφνιδίου καρδιακού θανάτου σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια.⁹

Όσον αφορά την εφαρμογή της μεθόδου στον τομέα της κολπικής μαρμαρυγής, έχει αποδειχθεί ότι τα κύματα P που προηγούνται ενός παροξυσμού κολπικής μαρμαρυγής περικλείουν ενέργειες υψηλότερης συχνότητας σε σύγκριση με τα φυσιολογικά,¹⁰ γεγονός που έχει συσχετιστεί με την ύπαρξη εστιών υψηλής συχνότητας σε διάφορες θέσεις του κολπικού μυοκαρδίου.¹¹ Η ερευνητική μας ομάδα τα τελευταία χρόνια χρησιμοποίησε την κυματιδική ανάλυση σε διάφορες κατηγορίες ασθενών (στεφανιαίοι ασθενείς μετά από αορτοστεφανιαία παράκαμψη, ασθενείς με αρτηριακή υπέρταση) για την πρόβλεψη επεισοδίων παροξυσμικής μαρμαρυγής με σημαντική επιτυχία, μεγάλη ευαισθησία και ειδικότητα.^{12,13}

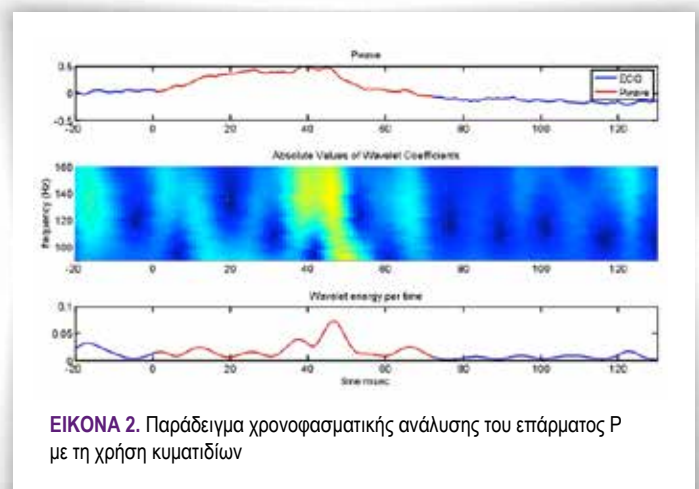
Συγχρόνως, σε δυο πιλοτικές μελέτες σε ασθενείς με ιστορικό παροξυσμικής κολπικής μαρμαρυγής χωρίς δομική καρδιακή νόσο, η κυματιδική ανάλυση αποτέλεσε χρήσιμο εργαλείο, όχι μόνο για την διάκριση των ασθενών με παροξυσμική μαρμαρυγή από την ομάδα ελέγχου, αλλά και για τον εντοπισμό των ασθενών εκείνων που εμφανίζουν ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό υποτροπών κολπικής μαρμαρυγής κατ' έτος.^{14,15}

Τέλος, σε πιο πρόσφατη μελέτη, η χρήση της κυματιδικής ανάλυσης του επάρματος P σε συνδυασμό με την εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης και την ανίχνευση δευτερευουσών μορφολογιών του κύματος P, οδήγησε στη δημιουργία ενός ταξινομητή με εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα στο διαχωρισμό υγιών από ασθενείς με κολπική μαρμαρυγή.¹⁶

Η κολπική μαρμαρυγή είναι η συχνότερη καρδιακή αρρυθμία, ενώ ο αριθμός των ασθενών που πάσχουν από αυτή αυξάνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο. Η ανάλυση του ΗΚΓ με την εφαρμογή των κυματιδίων δίνει πρόσθετες πληροφορίες για το υπόστρωμα και την πρόγνωση των ασθενών με κολπική μαρμαρυγή και μπορεί να συμβάλλει στην κατανόηση των περίπλοκων μηχανισμών της κολπικής μαρμαρυγής και την περαιτέρω ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισής της.



ΕΙΚΟΝΑ 1. Γραφική απεικόνιση του κυματιδίου Morlet.



ΕΙΚΟΝΑ 2. Παράδειγμα χρονοφασματικής ανάλυσης του επάρματος P με τη χρήση κυματιδίων

Βιβλιογραφία

1. Dilaveris PE, Gialafos EJ, Sideris SK, Theopistou AM, Andrikopoulos GK, Kyriakidis M, Gialafos JE, Toutouzas PK. Simple electrocardiographic markers for the prediction of paroxysmal idiopathic atrial fibrillation. *Am Heart J*, 1998 May;135(5 Pt 1):733-8.
2. Dilaveris PE, Gialafos EJ, Chrissos D, Andrikopoulos GK, Richter DJ, Lazaki E, Gialafos JE. Detection of hypertensive patients at risk for paroxysmal atrial fibrillation during sinus rhythm by computer-assisted P wave analysis. *J Hypertens*, 1999 Oct;17(10):1463-70.
3. Dilaveris PE, Gialafos EJ, Andrikopoulos GK, Richter DJ, Papanikolaou V, Poralis K, Gialafos JE. Clinical and electrocardiographic predictors of recurrent atrial fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2000 Mar;23(3):352-8.
4. Addison PS. Wavelet transforms and the ECG: a review. *Physiol. Meas*, 2005;26(5):R155-R199.
5. Morlet D, Peyrin F, Desseigne P, Touboul P and Rubel P. Wavelet analysis of high-resolution signal-averaged ECGs in postinfarction patients. *J Electrocardiol*, 1993;26(4):311-20.
6. Rubel V, J.Ph. Couderc, Morlet D, Fayn J, Peyrin F, Touboul P. Spectral Analysis of High-Resolution ECGs. *Non-Invasive Electrocardiology*. Moss AJ, Stern S, editors. W.B.Saunders Company Ltd 1996; p. 291-314.
7. Vassilikos V, Mantziari L, Dakos G, Kamperidis V, Chouvarda I, Chatzizisis Y.S, Kalpidis P, Theofilogiannakos E, Paraskevaidis S, Karvounis H, Mochlas S, Maglaveras N, Styliadis Y.S. QRS analysis using wavelet transformation for the prediction of response to cardiac resynchronization therapy: a prospective pilot study. *J. Electrocardiol*. 2014;47(1):59-65.
8. Dilaveris PE, Zervopoulos GA, Psomadaki ZD, Michaelides AP, Gialofos JE, Toutouzas PK. Assessment of time domain and spectral components of heart rate variability immediately before ischemic ST segment depression episodes. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1996 Sep;19(9):1337-45.
9. Arsenos P, Gatzoulis K, Manis G, Gialernios T, Dilaveris P, Tsiachris D, Archontakis S, Kartsagoulis E, Mytas D, Stefanadis C. Decreased scale-specific heart rate variability after multiresolution wavelet analysis predicts sudden cardiac death in heart failure patients. *Int J Cardiol*, 2012 Feb 9;154(3):358-60.
10. Alcaraz R, Martínez A and Rieta JJ. Role of the P-wave high frequency energy and duration as noninvasive cardiovascular predictors of paroxysmal atrial fibrillation. *Comput. Methods Programs Biomed*. 2015;119(2):110-119.
11. Berenfeld O. Toward discerning the mechanisms of atrial fibrillation from surface electrocardiogram and spectral analysis. *J. Electrocardiol*. 2010;43(6):509-514.
12. Vassilikos V, Dakos G, Chouvarda I, Karagounis L, Karvounis H, Maglaveras N, Mochlas S, Spanos P and Louridas G. Can P-wave wavelet analysis predict atrial Fibrillation after coronary artery bypass grafting? *Pacing Clin Electrophysiol*, 2003;26:305-9.
13. Dakos G, Konstantinou D, Chatzizisis Y, Chouvarda I, Filos D, Paraskevaidis S, Mantziari L, Maglaveras N, Karvounis H, Vassilikos V. P wave analysis with wavelets identifies hypertensive patients at risk of recurrence of atrial fibrillation: A case-control study and 1 year follow-up. *Journal of Electrocardiology*. 2015;48(5):845-852.
14. Vassilikos V, Dakos G, Chatzizisis YS, Chouvarda I, Karvounis C, Maynard C, Maglaveras N, Paraskevaidis S, Stavropoulos G, Styliadis CI, Mochlas S and Styliadis I. Novel non-invasive P wave analysis for the prediction of paroxysmal atrial fibrillation recurrences in patients without structural heart disease: a prospective pilot study. *Int J Cardiol*, 2011;153(2):165-72.
15. Dakos G, Chatzizisis YS, Konstantinou D, Chouvarda I, Filos D, Paraskevaidis S, Mantziari L, Maglaveras N, Karvounis H, Styliadis I and Vassilikos V. Wavelet-based analysis of P waves identifies patients with lone atrial fibrillation: a cross-sectional pilot study. *Int J Cardiol*, 2014;174(2):389-92.
16. Filos D, Chouvarda I, Tachmatzidis D, Vassilikos V and Maglaveras N. Beat-to-beat P-wave morphology as a predictor of paroxysmal atrial fibrillation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2017;151:111-121.

Atrial fibrillation and wavelet transformation

Vassilios P. Vassilikos MD, FACC, FESC

3rd Cardiology Department, Medical School, Aristotle University of Thessaloniki, Hippokrateio General Hospital

Paroxysmal atrial fibrillation (PAF) is the most common sustained cardiac arrhythmia in clinical practice, and the number of patients affected worldwide is increasing. Understanding of pathophysiological mechanisms underlying PAF and assessment of atrial electrophysiological properties using easily available non-invasive diagnostic tools are essential for further improvement of patient-tailored treatment strategies. In addition to P wave duration and morphology analysis, our group has introduced the Morlet wavelet analysis of P waves that is a novel technique of orthogonal ECG analysis based on the combination of time-domain and frequency-domain. This technique has been found useful in the detection of small signal components hidden in large ECG waves. Furthermore, we have shown that this technique can identify patients who are prone to future multiple episodes of PAF and predict episodes after successful isolation of the pulmonary veins.

KEYWORDS: Atrial fibrillation, ECG, wavelet transformation