

# Zastosowanie spektralnej analizy częstotliwościowej do oceny podłoża napadowego migotania przedsionków

Application of spectral frequency analysis in atrial fibrillation mechanism assessment

Piotr Urbanek<sup>1</sup>, Paweł Kuklik<sup>2</sup>, Łukasz Szumowski<sup>1</sup>, Paweł Derejko<sup>1</sup>,  
Roman Kępski<sup>1</sup>, Robert Bodalski<sup>1</sup>, Ewa Szufładowicz<sup>1</sup>, Andrzej Przybylski<sup>1</sup>,  
Michał Orczykowski<sup>1</sup>, Joanna Zakrzewska<sup>1</sup>, Jan Żebrowski<sup>2</sup>, Franciszek Walczak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instytut Kardiologii, Warszawa

<sup>2</sup>Politechnika Warszawska, Warszawa

## Abstract

Recent studies have demonstrated spatio-temporal organisation in atrial fibrillation (AF), with a highest dominant frequencies (DF) at pulmonary veins ostia (PVo). We present a case of 58-year-old woman with AF evaluated by spectral frequency analysis. Simultaneous recordings at each veno-atrial junction and coronary sinus were obtained. Sequential fast Fourier transforms (FFT) of digitalized signals were performed. FFT profiles were analysed to determine DF. Low DF recorded at right inferior PVo suggested no contribution to AF process. Ablation of high DF PVo and low DF SVC with nonuniform anisotropic conduction resulted in AF termination and good clinical outcome in 1-year follow-up.

**Key words:** atrial fibrillation, ablation, fast Fourier transform

Kardiol Pol 2006; 64: 1021-1025

Ablacja RF podłoża arytmii może być zabiegiem o wysokiej skuteczności u pacjentów z napadowym i przetrwałym migotaniem przedsionków (*atrial fibrillation*, AF), a bez organicznej choroby serca. Trudno jednak określić, jaki indywidualnie określony zakres zabiegu wystarcza do osiągnięcia satysfakcjonującego efektu. Panująca od kilku lat tendencja do rozszerzania zakresu zabiegu zaowocowała pojawieniem się nowych powikłań, takich jak jatrogenny częstoskurcz przedsionkowy czy przetoka przedsionkowo-przetykowa. Optymalnym rozwiązaniem byłoby wykonywanie zabiegów ukierunkowanych na obszary, które u konkretnego pacjenta wywołują lub podtrzymują arytmie, a pomijanie obszarów biernych.

Prezentujemy przypadek zastosowania analizy częstotliwościowej do oceny podłoża podtrzymywania AF.

## Opis przypadku

Chora 58-letnia, z uporczywie nawracającymi napadami AF z rytmem komór do 140/min, po skutecznej

ablacji RF cieśni trójdzielno-żylniej, została przyjęta do Instytutu Kardiologii w celu wykonania zabiegu ablacji RF.

Arytmia trwała od kilku min do 48 godz. Napady, które wyraźnie ograniczały tolerancję wysiłków, występowały od 4 lat i nawracały okresowo codziennie. Profafenon,  $\beta$ -bloker oraz amiodaron nie zabezpieczyły przed napadami AF.

Badanie echokardiograficzne przed zabiegiem wykazało: LVdD 5 cm, LVsD 3 cm, PWd 1 cm, LVEdV 118,2 cm<sup>3</sup>, LVEsV 35 cm<sup>3</sup>, LA 3,6 cm, Ao 3,3 cm, EF 70%, SF 40%, SV 83 ml. W tomografii komputerowej serca stwierdzono typową anatomie lewego przedsionka. Wymiary ujść żył płucnych wynosiły: żyła płucna górna lewa 22 x 14 mm, żyła płucna dolna lewa 21 x 12 mm, żyła płucna dolna prawa 25 x 20 mm, żyła płucna górna prawa 19 x 26 mm.

U pacjentki wykonano ablację RF z zastosowaniem elektrody okrężnej Lasso. Zabieg rozpoczęto w trakcie długotrwałego napadu AF. Izolacji poddano wszystkie

---

## Adres do korespondencji:

Piotr Urbanek, Instytut Kardiologii, ul. Alpejska 42, 04-628 Warszawa, tel.: +48 22 343 43 26, e-mail: urbil@wp.pl

Tabela I.

	średnie DF w ujściu żyły	gradient DF pomiędzy ujściem żyły a CS
żyła płucna górna lewa	6,1±0,2 Hz	0,6 Hz
żyła płucna dolna lewa	8,1±0 Hz	0,9 Hz
żyła płucna górna prawa	7,6±0 Hz	1,3 Hz
żyła płucna dolna prawa	5,6±0,6 Hz	0 Hz
żyła główna górna	5,2±0 Hz	0 Hz

ujścia żyłne wykazujące cechy przewodzenia przedsionek ↔ żyła. Ablacji poddano przepusty w ujściach żyły płucnej górnej lewej, żyły płucnej górnej prawej, żyły płucnej dolnej lewej. Dodatkowo wykonano aplikacje w rejonie przebiegu więzadła Marshalla. Elektrody przesunięto do prawego przedsionka, a elektrodę Lasso do żyły głównej górnej. Migotanie przedsionków ustąpiło podczas manipulacji elektrodą ablacyjną w ujściu żyły; wykonano jej izolację, zamykając niejednorodne przepusty między prawym przedsionkiem a żyłą główną. Po zabiegu stymulacją programowaną nie wyzwolono AF. W ciągu rocznej obserwacji nie występowały napady AF. Po 6 mies. od zabiegu odstawiono propafenon.

### Analiza częstotliwości fal migotania

Analizie poddano 10-sekundowe fragmenty jednoczesnego zapisu z elektrody okrężnej Lasso oraz elektrody umieszczonej w zatoce wieńcowej (CS). Do dalszej obróbki wyselekcjonowano zapisy z bipoli o najwyższej częstotliwości fal migotania. Elektrogramy zostały wyeksportowane w formie cyfrowej z systemu EP Work Mate. Dalszą obróbkę sygnałów przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania wykonanego we współpracy z Politechniką Warszawską. Metodyka dotycząca filtracji sygnałów odpowiada stosowanej w piśmiennictwie w podobnych analizach [1]. Każdy zapis został podzielony na pięć 2-sekundowych segmentów (5 z elektrody okrężnej i 5 z elektrody umieszczonej w zatoce wieńcowej). Z każdego 2 s zapisu wykonano szybką transformację Fouriera (FFT) o rozdzielczości 2048 punktów. Pozwoliło to na określenie dominującej częstotliwości fal AF w każdym z segmentów.

Uśrednione wartości częstotliwości dominujących (DF) w ujściach żył oraz wartości gradientu częstotliwości pomiędzy ujściami żył a zatoką wieńcową zamieszczono w Tabeli I.

Zwraca uwagę wysoka częstotliwość fal AF w ujściach żyły płucnej dolnej lewej oraz żyły płucnej górnej prawej. Rejestrowane równocześnie fale w zatoce wieńcowej mają zdecydowanie niższą częstotliwość (gradient częstotliwości dominujących pomiędzy uj-

ściami żył a zatoką wieńcową wynosi odpowiednio 0,9 i 1,3 Hz). Częstotliwości na pograniczu ujścia żyły płucnej dolnej prawej i lewego przedsionka, w ujściu żyły głównej górnej oraz zatoce wieńcowej były zbliżone. Izolacji żyły płucnej dolnej prawej nie podjęto, ponieważ nie stwierdzono aktywnego elektrycznego połączenia jej proksymalnej części z lewym przedsionkiem (w ujściu nie rejestrowano potencjałów żylnych). W ujściu żyły głównej górnej natomiast obecne były aktywne niejednorodne elektryczne przepusty do jej części proksymalnej. Poza żyłami płucnymi o wysokiej częstotliwości fal niejednorodność przepustów w żyłę główną mogła odgrywać dodatkową arytmogenną rolę w środowisku o niższej częstotliwości.

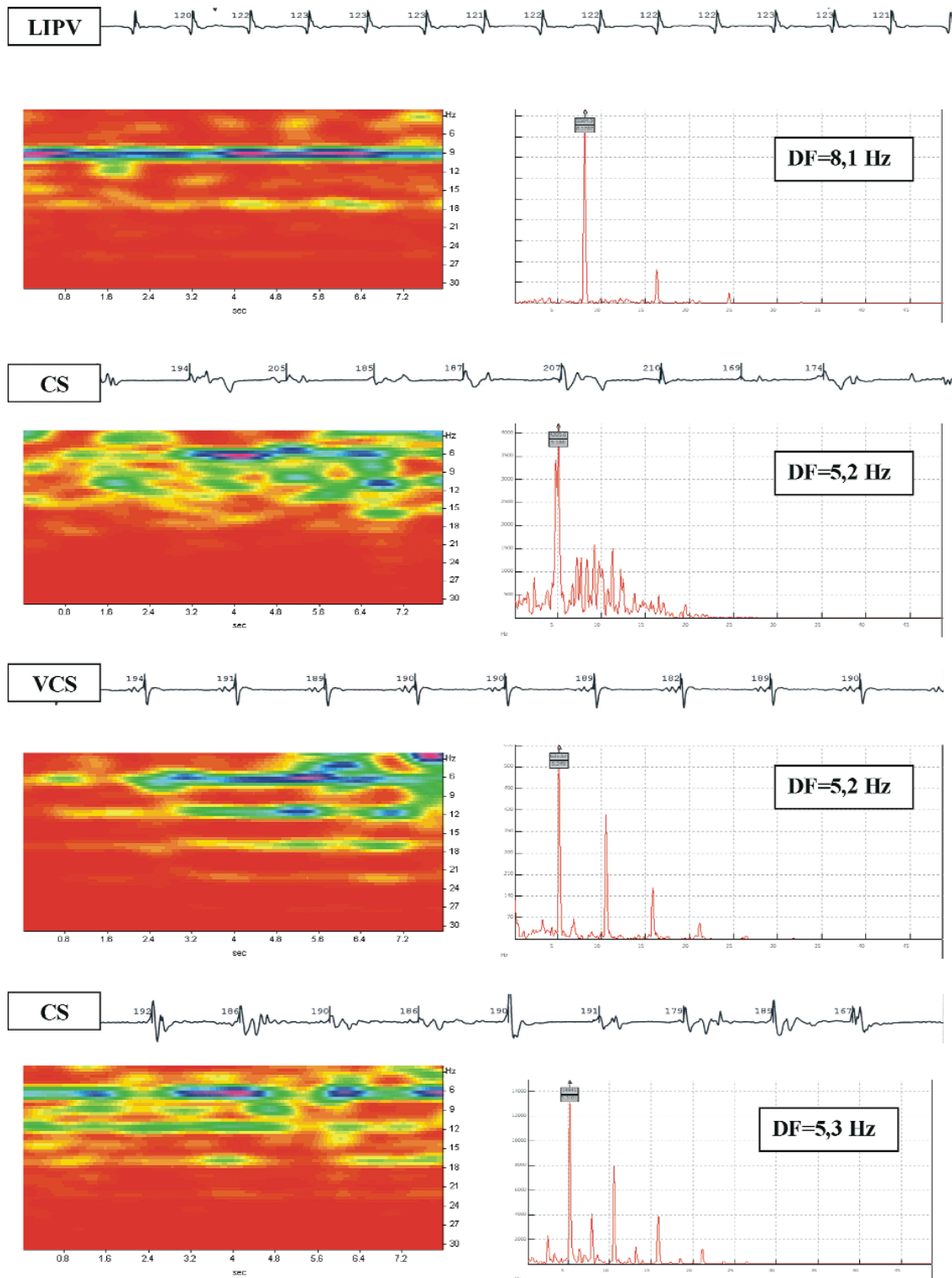
### Dyskusja

Przy odpowiednim stopniu remodelingu mięśnia AF może być podtrzymywane przez chaotyczną propagację szybko degenerujących fal spiralnych. Badania przeprowadzone w ostatnich latach dowodzą jednak, że arytmia ta może również powstać przez rozpad fal aktywacji, których źródłem są stabilne rotory migotania, zlokalizowane najczęściej w żyłach płucnych. Ablacja lub izolacja okolic ich występowania prowadzi do przerwania arytmii i zapobiega jej nawrotom [1, 2].

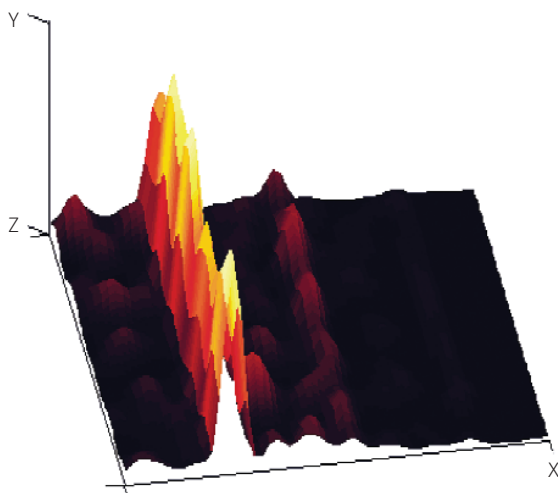
Występowanie stabilnego reentry podczas AF uodowodniła m.in. Mandapati [3]. Stosując mapowanie optyczne, zobrazowała pętle reentry o stabilnej częstotliwości (14,7 Hz). Było to źródło o najwyższej częstotliwości i stabilności w badanym przedsionku owcy, co może dowodzić jego dominującej roli w podtrzymaniu AF.

W badaniu na 12 psach z niewydolnością serca i AF przeprowadzonym przez Ryu wykazano 3 typy rozkładu częstotliwości w przedsionkach: 1) jeden dominujący rotor, 2) kilka rotorów lub 3) nie stwierdzano rotorów [4]. Częstotliwości ustalano na podstawie analizy FFT z wieloelektrodowych zapisów epikardialnych prawego i lewego przedsionka. Rotor AF rozpoznawano, jeżeli w badanej lokalizacji spektrum FFT wykazywało wyraźną przewagę mocy dla konkretnej częstotliwości. Pojedynczy rotor występował wyłącznie w lewym przedsionku (4 psy – 33%). W 7 przypadkach (58%) występowało kilka regularnych rotorów – najwyższe DF wykryto w lewym przedsionku u 4 psów, a u 3 w prawym przedsionku. U jednego nie wyodrębniono żadnego rotora. Przyjmując te kryteria podziału, prezentowany przez nas przypadek odpowiada sytuacji współistnienia kilku rotorów migotania.

Występowanie stabilnych gradientów częstotliwości stwierdzano również w badaniach klinicznych. Lazar zbadał częstotliwości AF u 31 pacjentów poddawanych ablacji podłoża AF [1]. Grupa składała się z 18 pacjentów z napadowym AF i 13 z AF trwającym ponad miesiąc. Ocenie poddano: zapisy uzyskane z elektrod okrężnych umiesz-



**Rycina 1.** Analiza FFT częstotliwości fal AF w ujściu żyły płucnej dolnej lewej (LIPV) oraz ujściu żyły głównej górnej (VCS). Poniżej każdego z sygnałów (125 mm/s) umieszczono prezentację *time-FFT* (rozkład mocy częstotliwości w czasie) oraz spektrogram FFT wraz z wartościami częstotliwości dominujących (DF) podczas 10 s rejestracji. Sygnały rejestrowano równocześnie w ujściach żył oraz w zatoce wieńcowej (CS). Zwraca uwagę wysoki gradient DF pomiędzy ujściem LIPV a CS



**Rycina 2.** Prezentacja 3D *time-FFT* sygnału z górnego segmentu ujścia żyły płucnej dolnej lewej (oś x – częstotliwość, oś y – moc, oś z – czas). Przez cały okres rejestracji dominują częstotliwości ok. 8 Hz

czanych kolejno w ujściach wszystkich żył płucnych oraz równocześnie zapisane sygnały z elektrody umieszczonej w zatoce wieńcowej i wzdłuż tylnej ściany prawego przedsionka. Uzyskane zapisy poddano analizie FFT i porównano częstotliwości dominujące. W grupie pacjentów z PAF stwierdzono najwyższe DF w okolicach ujść PV, pośrednie w zatoce wieńcowej, a najniższe w prawym przedsionku. Różnice częstotliwości były znamienne. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w grupie z AF trwającym ponad miesiąc. Dane te mogą świadczyć o tym, że początkowo zwykle żyły płucne i lewy przedsionek mają główny udział nie tylko w zawiązywaniu, lecz również podtrzymywaniu AF. Z czasem jednak remodeling, obejmując również prawy przedsionek, prowadzi do skrócenia jego okresu refrakcji i zaniku gradientu częstotliwości pomiędzy lewym a prawym przedsionkiem.

W ostatnio opublikowanej pracy Lin badał rozkład częstotliwości dominujących w zależności od miejsca wyzwalania AF [5]. Porównano grupę pacjentów z AF wyzwalanym SVEB's z żyły głównej górnej (VCS) ( $n=13$ ) z grupą pacjentów z AF wyzwalanym z żył płucnych ( $n=31$ ). U pacjentów z AF wyzwalanym z VCS nie stwierdzano gradientu pomiędzy lewym a prawym przedsionkiem, zaobserwowano natomiast gradient DF pomiędzy VCS a prawym przedsionkiem.

W analizie cyklu AF  $n=21$  (bez FFT) rejestrowanego z zastosowaniem 64-bipolowych elektrod typu basket Ndrepepa zaobserwowano różnice w stopniu organizacji oraz cyklu AF u pacjentów z napadowym AF w porów-

naniu z pacjentami z przetrwałym AF [6]. U pacjentów z napadowym AF rejestrowano fale migotania o dłuższym cyklu i większym zróżnicowaniu częstotliwości w poszczególnych regionach lewego przedsionka.

Istnieją doniesienia sugerujące, że również w utrwalonym AF można zaobserwować gradienty częstotliwości pomiędzy przedsionkami. Wu przedstawił analizę FFT sygnałów z elektrod nasierdziowych wykonaną u 6 pacjentów z utrwalonym AF leczonych operacyjnie [7]. Stwierdził wyższe częstotliwości w obrębie tylnej ściany LA w porównaniu z RA ( $6,4\pm 1,2$  Hz vs  $5,7\pm 0,5$  Hz;  $p=0,05$ ).

Sanders przeanalizował 5-sekundowe zapisy z kolejnych punktów map elektroanatomicznych CARTO wykonywanych u 32 pacjentów poddawanych ablacji w trakcie AF [8]. Następnie wykonano analizę spektralną zapisów w celu określenia dominującej częstotliwości (DF) i sporządzono mapy DF 3D. Na tej podstawie wyodrębniono miejsca o wysokiej DF otoczone przez punkty o co najmniej 20% niższej DF. Ablacja tych miejsc dała znamienne statystycznie wydłużenie cyklu AF mierzone w CS, podczas gdy pozostałe aplikacje nie dały istotnego wydłużenia cyklu AF. AF przerwano podczas ablacji u 14 pacjentów, z czego u 11 podczas aplikacji w miejscach wysokiej DF.

W prezentowanym przez nas przypadku główną rolę w podtrzymywaniu napadu AF odgrywały prawdopodobnie 3 żyły płucne: dolna lewa, górna prawa oraz górna lewa, które wykazywały częstotliwości wyższe niż rejestrowane w CS. Niskie częstotliwości w ujściu żyły płucnej dolnej prawej oraz VCS mogą wskazywać na brak czynnego udziału w procesie migotania.

Należy zaznaczyć, że zatoka wieńcowa pełni, obok wiązki Bachmanna, rolę elektrycznego połączenia pomiędzy lewym i prawym przedsionkiem. W zależności od budowy i jakości przepustów CS-RA i CS-LA, zatoka wieńcowa w określonych odcinkach może wykazywać częstotliwości zbliżone do lewego lub do prawego przedsionka. Dlatego gradient częstotliwości pomiędzy ujściem żyły płucnej a zatoką wieńcową nie musi być równoznaczny z gradientem pomiędzy żyłą płucną a lewym przedsionkiem.

## Podsumowanie

1. W czasie AF można wyodrębnić rejony o wysokich, stabilnych w czasie częstotliwościach.
2. Rejony te mogą być źródłem fal migotania wtórnie aktywujących pozostały obszar przedsionka.
3. Spektralna analiza częstotliwości może być pomocna w lokalizacji źródeł podtrzymywania AF i odpowiednim zaplanowaniu zabiegu ablacji RF.

## Piśmiennictwo

1. Lazar S, Dixit S, Marchlinski FE, et al. Presence of left-to-right atrial frequency gradient in paroxysmal but not persistent atrial fibrillation in humans. *Circulation* 2004; 110: 3181-6.

2. Park AM, Chou CC, Drury PC, et al. Thoracic vein ablation terminates chronic atrial fibrillation in dogs. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2004; 286: H2072-7.
3. Mandapati R, Skanes A, Chen J, et al. Stable microentrant sources as a mechanism of atrial fibrillation in the isolated sheep heart. *Circulation* 2000; 101: 194-9.
4. Ryu K, Shroff SC, Sahadevan J, et al. Mapping of atrial activation during sustained atrial fibrillation in dogs with rapid ventricular pacing induced heart failure: evidence for a role of driver regions. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005; 16: 1348-58.
5. Lin YJ, Tai CT, Kao T, et al. Frequency analysis in different types of paroxysmal atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 1401-7.
6. Ndrepepa G, Karch MR, Schneider MA, et al. Characterization of paroxysmal and persistent atrial fibrillation in the human left atrium during initiation and sustained episodes. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2002; 13: 525-32.
7. Wu TJ, Doshi RN, Huang HL, et al. Simultaneous biatrial computerized mapping during permanent atrial fibrillation in patients with organic heart disease. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2002; 13: 571-7.
8. Sanders P, Berenfeld O, Hocini M, et al. Spectral analysis identifies sites of high-frequency activity maintaining atrial fibrillation in humans. *Circulation* 2005; 112: 789-97.