

## Rola wektokardiografii w monitorowaniu pacjentów po operacji metodą Fontana

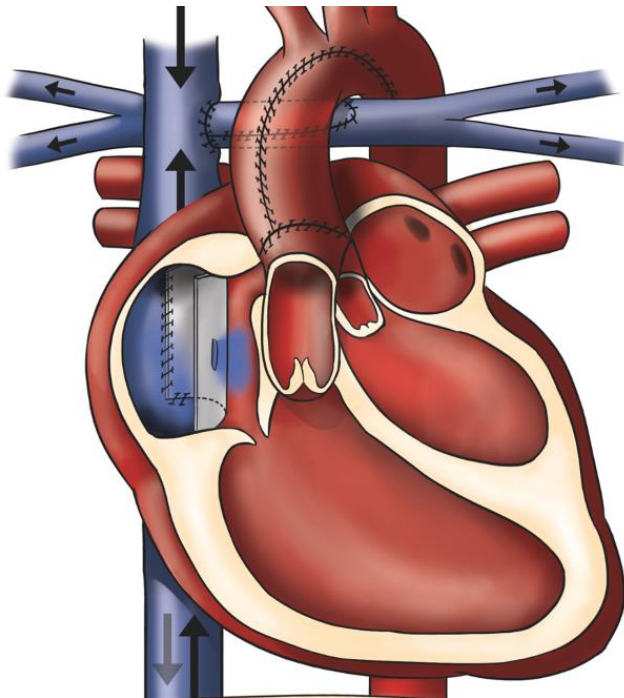
Patryk Macuk, Joanna Kwiatkowska

Katedra i Klinika Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca UCK/GUMed

### Wstęp

W 1968 roku Francis Fontan oraz Eugene Baudet zaproponowali pionierską wówczas metodę kardiochirurgicznego leczenia atrezji zastawki trójdzielnej – typowej wady o typie serca jednokomorowego. Procedura (Ryc. 1) polega na przekierowaniu krwi żylnej bezpośrednio do tętnic płucnych, z pominięciem prawej komory serca, co umożliwia natlenowanie krwi bez efektywnego udziału tej komory [1].

Ryc. 1



<https://www.nature.com/articles/s41598-019-38848-5>, Heart beat but not respiration is the main driving force of the systemic venous return in the Fontan circulation

### Pacjent po operacji Fontana

Na przestrzeni ostatnich 30 lat wiele się zmieniło w świecie kardiologii wad wrodzonych serca. Obecnie dysponujemy diagnostyką prenatalną, której zupełnie nie mieliśmy 30 lat temu. Przez te ponad 3 dekady wiele się nauczyliśmy, dzisiaj lepiej rozumiemy „filozofię” krążenia fontanowskiego. Obecnie szacuje się, że na świecie żyje około 70 000-80 000 pacjentów po operacji Fontana. Pojawia się zatem pytanie: i co teraz? Co możemy zrobić, aby poprawić jakość życia naszych pacjentów i ich rodzin?

W praktyce klinicznej jednym z wyzwań u pacjentów z sercem jednokomorowym jest identyfikacja czynników odpowiedzialnych za późną dysfunkcję krążenia fontanowskiego. Są to m. in. wzrost ciśnienia w nierozciągliwym tunelu, zwężenia tętnic płucnych, zwężenie w drodze odpływu komory, niedomykalność zastawki systemowej, objętość prawego przedsionka, czy stosunek średnicy tętnicy płucnej do aorty.

Pomimo postępów w kardiochirurgii i znaczącej poprawy przeżywalności, pacjenci z krążeniem fontanowskim pozostają narażeni na liczne odległe powikłania, takie jak niewydolność krążenia fontanowskiego, enteropatia wysiękowa, plastyczne zapalenie oskrzeli czy powikłania zakrzepowozatorowe.

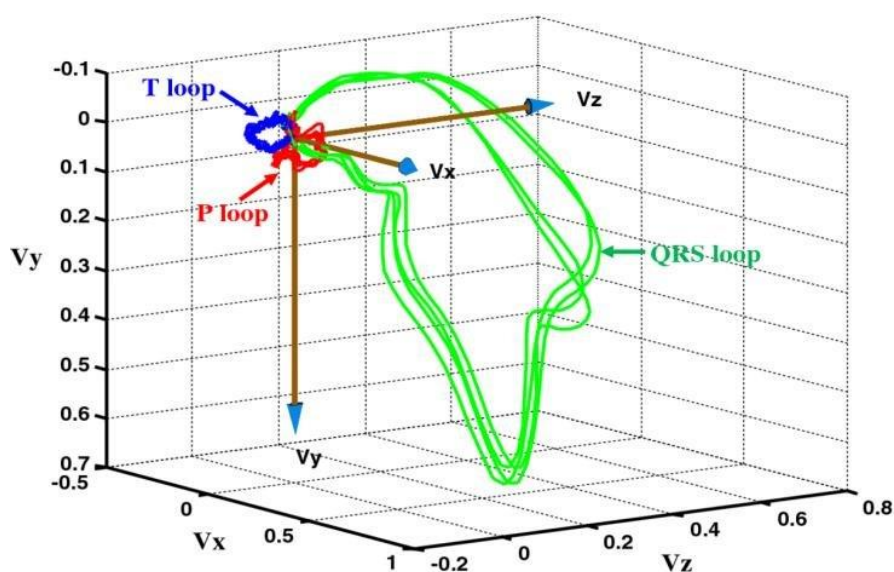
Jedną z głównych przyczyn częstych epizodów dekompensacji w tej grupie pacjentów są zaburzenia rytmu serca, obejmujące przede wszystkim tachyarytmie przedsionkowe, migotanie przedsionków oraz zaburzenia przewodzenia. Wczesne wykrywanie tych arytmii ma kluczowe znaczenie dla poprawy jakości życia i rokowania pacjentów z krążeniem fontanowskim.

Szacuje się, że niewydolność krążenia fontanowskiego (FCF – *Fontan Circulatory Failure*) występuje z postępującą z wiekiem częstością, według różnych autorów od kilku procent, do nawet połowy wszystkich pacjentów po leczeniu traktem fontanowskim.

Szacuje się, że niewydolność krążenia fontanowskiego (FCF – *Fontan Circulatory Failure*) występuje coraz częściej wraz z wiekiem. Według różnych autorów odsetek pacjentów dotkniętych FCF wynosi od kilku procent do nawet połowy wszystkich po leczeniu metodą Fontana.

### Wektokardiografia jako narzędzie diagnostyczne

Wektokardiografia (VCG) jest metodą, która pozwala na trójwymiarową analizę wektorów elektrycznych serca, bazując na standardowym 12-odprowadzeniowym EKG. Dzięki matematycznej transformacji sygnałów EKG, VCG (Ryc 2.) dostarcza informacji o wektorach depolaryzacji i repolaryzacji w różnych płaszczyznach przestrzennych. Może to być szczególnie przydatne w ocenie wczesnych powikłań arytmicznych u pacjentów po operacji metodą Fontana.



## **Kluczowe parametry EKG i VCG w ocenie krążenia typu Fontana**

W publikacji, zatytułowanej *Vectorcardiography signs of a failing Fontan: Heart rate, PR interval, RtQRSvm, QRSvm and SPQRS-T angle as noninvasive markers of late Fontan complications and mortality* [1], opisywano związek między parametrami EKG/VCG a niewydolnością krążenia fontanowskiego (FCF). Badana grupa składała się ze 107 pacjentów po operacji metodą Fontana, a FCF zdefiniowano jako wystąpienie powikłań takich jak enteropatia wysiękowa, plastyczne zapalenie oskrzeli, "Fontan takedown", przeszczep serca, klasa NYHA III-IV lub zgon.

### **Kluczowe parametry EKG:**

**Częstość akcji serca (HR):** Zwiększona HR (>93 uderzeń na minutę) była istotnie związana z ryzykiem FCF. Wzrost częstości akcji serca może odzwierciedlać mechanizmy kompensacyjne w odpowiedzi na zmniejszoną objętość wyrzutową serca [1].

**Odstęp PR:** Wydłużony odstęp PR (>155 ms) wskazuje na zaburzenia przewodzenia przedsionkowo-komorowego, co może prowadzić do dyssynchronii w pracy serca i pogorszenia jego funkcji, szczególnie w kontekście rozkurczu oraz napełniania komory [1].

### **Kluczowe parametry VCG:**

Wg autorów odchylenia w poniższych parametrach związane były ze zwiększoną całkowitą śmiertelnością po 30 latach obserwacji [1].

**Wektor QRSvm:** Reprezentuje on siłę i kierunek całkowitego wektora depolaryzacji komórek serca w trójwymiarowej przestrzeni. Podwyższona wartość QRSvm (>1,91 mV) sugeruje przerost i przeciążenie funkcjonującej komory serca. Może być to wynikiem adaptacji mięśnia sercowego do zmienionych warunków hemodynamicznych po operacji.

**Wektor RtQRSvm:** Jest to wartość wektora QRS skierowanego w stronę prawych odprowadzeń przedsercowych (V1-V3). Podwyższona wartość RtQRSvm (>1,8 mV) może wskazywać na przerost i przeciążenie mięśnia sercowego.

Wyniki te pokazują zależności specyficzne dla krążenia fontanowskiego, zatem nie były opisywane w innych procesach fizjologicznych.

Zachodzące zjawiska wyjaśnić można poprzez mechanizm dominacji jednej komory. Skupienie aktywności elektrycznej prowadzi do zmniejszenia dyspersji repolaryzacji, efektywnie zwiększając wartości QRSvm lub RtQRSvm, co odzwierciedla jednorodność aktywacji elektrycznej komory morfologicznie dominującej.

W kontekście zmian strukturalnych, pośredni etap leczenia (pre-Fontan), promuje przerost ekscentryczny wtórny do zwiększonego obciążenia wstępnego. Zmiany po korekcji (post-Fontan) skutkują przesunięciem równowagi układu na niskie obciążenie wstępne oraz wysokie obciążenie następcze, skutkując dołączeniem przerostu koncentrycznego, a w efekcie również pewnego stopnia dysfunkcji rozkurczowej komory. Taka fizjologia negatywnie wpływa na funkcję serca, prowadząc do asynchronii skurczu.

Podsumowując, przerost pojedynczej komory i brak synchronii skurczu wpływa na zwiększenie wartości  $QRS_{vm}/RtQRS_{vm}$ , które mogą być oznakami niewydolności krążenia fontanowskiego [1].

**Kąt przestrzenny SPQRS-T:** Jest to kąt między wektorem maksymalnej depolaryzacji komór (QRS) a wektorem maksymalnej repolaryzacji komór (T) w trójwymiarowej przestrzeni. Obrazuje różnice w kierunku i czasie przepływu impulsów elektrycznych podczas depolaryzacji i repolaryzacji. Szeroki kąt SPQRS-T ( $>92,3^\circ$ ) jest wskaźnikiem heterogenności elektrycznej mięśnia sercowego i wiąże się ze zwiększonym ryzykiem powikłań sercowych oraz śmiertelności.

### Znaczenie monitorowania VCG w praktyce klinicznej

Monitorowanie powyższych parametrów VCG może pozwolić na wczesne wykrycie niekorzystnych zmian w funkcji serca u pacjentów po operacji metodą Fontana, pomimo braku objawów klinicznych oraz zmian w spoczynkowym EKG. Ponieważ VCG bazuje na standardowym EKG, jest to metoda nieinwazyjna, łatwo dostępna i nie generuje dodatkowych kosztów. W badaniu ankietowym Di Maria i wsp. [3] poruszona została potrzeba standaryzacji praktyk monitorowania.

Pacjenci u których wykazano odchylenia wartości parametrów VCG powinni być objęci ścisłą obserwacją i, w razie potrzeby, skierowani na dodatkowe badania diagnostyczne lub interwencje terapeutyczne.

### Podsumowanie

Wektokardiografia, choć nie jest nową metodą diagnostyczną, może zyskać na znaczeniu w opiece nad pacjentami po operacji metodą Fontana. Parametry takie jak wartości wektorów  $QRS_{vm}$  i  $RtQRS_{vm}$  oraz kąt SPQRS-T mogą służyć jako nieinwazyjne markery ryzyka odległych powikłań i zwiększonej śmiertelności. Włączenie analizy VCG do rutynowej opieki kardiologicznej nad tymi pacjentami może przyczynić się do wcześniejszego wykrywania problemów i poprawy wyników leczenia.

Obecnie stosowane metody w ocenie FCF obejmują zarówno inwazyjne, jak i nieinwazyjne pomiary, takie jak cewnikowania serca, badanie echokardiograficzne – ocena odkształcenia, czy indeksowana objętość końcowo-rozkurczowa komory w rezonansie magnetycznym serca. Jednak EKG, jako badanie niedrogie, łatwo dostępne i nieinwazyjne, może dostarczać wiarygodnych informacji o ryzyku przebudowy serca, zwłaszcza w populacjach, w których zdefiniowano parametry wektokardiograficzne (VCG).

Jak zauważono w badaniu Di Maria i wsp. [3], EKG jest rutynowo wykonywane co 6 miesięcy lub przynajmniej raz w roku w ramach monitorowania pacjentów z krążeniem fontanowskim w wielu ośrodkach. Oznacza to, że badanie EKG jest już powszechnie stosowane, jednak do tej pory brakowało badań identyfikujących kluczowe parametry specyficzne dla tej populacji, które pozwalałyby na ocenę ryzyka wystąpienia odległych powikłań lub ryzyka zgonu. Ponieważ badanie EKG pozostaje podstawowym narzędziem w monitorowaniu pacjentów po operacji Fontana, autorzy podkreślają kliniczne znaczenie analizy VCG jako integralnej części interpretacji EKG w kontekście wykrywania oznak FCF.

Zainteresowanych tematem zapraszamy do zapoznania się poniższymi publikacjami:

1. Wong A, Cortez D. Vectorcardiography signs of a failing Fontan: Heart rate, PR interval, RtQRSvm, QRSvm and SPQRS-T angle as noninvasive markers of late Fontan complications and mortality. *Journal of Electrocardiology*. 2024; 85(3): 78-86.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2024.04.008>
2. Gewillig M, Goldberg DJ. Failure of the Fontan circulation. *Heart*. 2017;103(10):752-758.  
<https://doi.org/10.1016/j.hfc.2013.09.010>
3. di Maria MV, Brown DW, Cetta F, Ginde S, Goldberg D, Menon SC, et al. Surveillance testing and preventive care after Fontan operation: A multi-institutional survey. *Pediatr Cardiol* 2019;40(1):110–5. <https://doi.org/10.1007/s00246-018-1966-9>