

Porównawcza analiza zwężeń wieńcowych poddawanych angioplastyce, dokonywana w trakcie oraz w kilka dni po skutecznym zabiegu

Robert Gil¹, Aneta I. Gziut¹, Artur Krzywkowski¹, Jacek Kubica², Tomasz Pawłowski¹, Adam Sukiennik², Sebastian Ciuka¹ i Rafał Żurawski¹

¹Samodzielna Pracownia Hemodynamiki i Elektrofizjologii Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie

²Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych Akademii Medycznej w Bydgoszczy

Comparative analysis of coronary lesions treated by angioplasty performed during and a few days after succesful procedure

The aim of the study: *Quantitative coronary angiography (QCA) provides geometrical parameteres of the stenosed coronary arteries which simplify selection to different coronary intervention procedures, increasing their safety and effectiveness.*

Material and methods: *Analysis processed pre- and postprocedural angiograms of 73 patients with ischemic heart disease (IHD) treated with balloon angioplasty and coronary stenting. Studies contained quantitative analyses of the stenosed vessel segments. Following parameters were estimated: minimal lumen diameter (MLD), reference diameter (RD), percentage of diameter stenosis (%DS). Measurements were performed during (on-line) and few days after percutaneous coronary interventions (off-line).*

Results: *Analysis of the preprocedural QCA indicated significant statistical relation between on- and off-line measurements. The strongest correlation was found for RD, the smallest for MLD. Succesful percutaneous coronary interventions caused significant worsening of the correlations for MLD in patients treated with PTCA and on contrary, improvement for patients treated with stent implantations.*

Conclusions: *QCA performed during percutaneous the coronary procedures indicates advancement of the IHD and allows prognosis of their final results. Considering possibility of subjective interpretation coronary angioplasty final results, off-line quantitative angiography measurements are recommended. (Folia Cardiol. 2001; 8: 347–353)*

quantitative coronary angiography, coronary angioplasty, coronary stenting

Wstęp

W trakcie swojej ponad 20-letniej historii angioplastyka wieńcowa (PTCR, *percutaneous trans-*

luminal coronary revascularization) zdobyła powszechne kliniczne uznanie. Duży wpływ miał na to dokonujący się postęp techniki komputerowej, umożliwiający praktyczne zastosowanie automatycznej ilościowej analizy koronarogramu (QCA, *quantitative coronary angiography*). Metoda ta, dostarczając geometrycznych parametrów zwężenia wieńcowego, w istotny sposób ułatwia kwalifikację oraz zwiększa bezpieczeństwo i efektywność angioplastyki wieńcowej [1–3].

Adres do korespondencji: Dr hab. med. Robert Gil
Samodzielna Pracownia Hemodynamiki
i Elektrofizjologii PAM
ul. Powstańców Wlkp. 72, 70–111 Szczecin
Nadesłano: 12.03.2001 r. Przyjęto do druku: 28.05.2001 r.

Istnieje wiele dowodów, że istotny wpływ na dokładność oraz powtarzalność angiograficznych pomiarów ilościowych ma doświadczenie osoby analizującej efekty PTCR [4–6], natomiast w piśmiennictwie nie ma oceny wpływu poszczególnych typów oraz jednoznacznej oceny wpływu na angiograficzny pomiar ilościowy czasu ubiegającego od PTCR.

Celem niniejszej pracy była analiza porównawcza pomiarów ilościowych zwężeń wieńcowych, dokonywanych podczas zabiegu PTCR (*on-line*) i w kilka dni po nim (*off-line*).

Material i metody

Badaną grupę stanowiło 73 pacjentów z chorobą wieńcową (14 kobiet i 59 mężczyzn) w wieku 53 ± 7 lat (zakres 33–70 lat) poddanych PTCR w Samodzielnej Pracowni Hemodynamiki i Elektrofizjologii PAM w okresie od czerwca 1995 do listopada 1996 roku.

Badaną populację podzielono na 2 grupy, z których pierwszą stanowili pacjenci poddani zabiegowi angioplastyki balonowej (POBA, *percutaneous optimal balloon angioplasty*), a drugą poddani implantacji stentu (STENT). Grupa pierwsza obejmowała 49 chorych (9 kobiet i 40 mężczyzn), których średni wiek wynosił 52 ± 6 lat, natomiast grupa druga 24 pacjentów (5 kobiet i 19 mężczyzn) ze średnią wiekiem 53 ± 8 lat.

Wskazaniem do PTCR u wszystkich chorych było istotne ($> 50\%$ redukcji średnicy) zwężenie tętnicy wieńcowej z objawami dławicy piersiowej lub dodatnim wynikiem testu wysiłkowego.

Charakterystyka kliniczna badanej populacji (tab. 1) była typowa dla pacjentów poddawanych angioplastyce wieńcowej.

Do oceny ilościowej zwężonych segmentów naczyniowych zastosowano systemy ACA DCI (Phi-

lips, Einthoven, NL) dla pomiarów przed oraz na koniec PTCR (*on-line* QCA) oraz CAAS II (Pie Data Medical, Maastricht, NL) dla pomiarów dokonywanych w kilka dni po nim (*off-line* QCA). Oba systemy wykorzystują zbliżone do siebie programy komputerowe, automatycznie wyznaczające zarys naczyń na podstawie algorytmu typu *edge detection* [1, 2, 7]. Do pomiarów *on-line* QCA oraz *off-line* QCA wybierano jedną projekcję angiograficzną, pozbawioną efektu skrócenia oraz nakładania się pobliskich naczyń [1, 8]. Wykonywała je ta sama osoba.

Za skuteczny zabieg PTCR przyjęto brak dyssekcji ściany naczynia upośledzającej przepływ wieńcowy oraz uzyskanie rezydualnego zwężenia poniżej 30% w przypadku pacjentów po zabiegu angioplastyki balonowej i poniżej 10% po implantacji stentu.

Do analizy ilościowej zwężonych segmentów naczyń wieńcowych włączono automatycznie wyliczane parametry: średnicę w miejscu największego zwężenia oraz średnicę referencyjną. Ten ostatni wskaźnik (tzw. interpolowana średnica referencyjna) w zastosowanych systemach angiografii ilościowej wyznacza się automatycznie, z uwzględnieniem średnicy naczynia w segmencie proksymalnym i dystalnym w stosunku do zmiany obstrukcyjnej [1, 8]. Stopień zwężenia średnicy naczynia (%DS) obliczano ze stosunku średnicy naczynia w miejscu maksymalnego zwężenia (MLD, *minimal lumen diameter*) do średnicy referencyjnej (RD, *reference diameter*) według wzoru: $\%DS = (1 - MLD/RD) \times 100\%$.

Analiza statystyczna. Wyniki przedstawiono jako średnią \pm odchylenie standardowe. Zgodność rozkładu zmiennych z rozkładem normalnym weryfikowano testem Shapiro-Wilka. Porównanie parametrów przeprowadzono, stosując test kolejności par Wilcoxon. Za istotne statystycznie przyjęto $p \leq 0,005$ (ryc. 3).

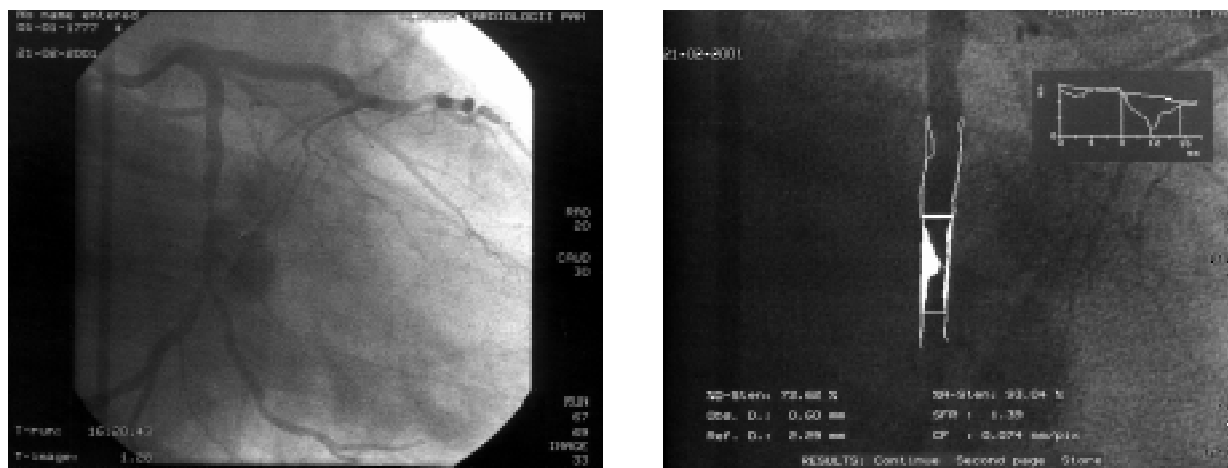
Wyniki

Wszystkie zabiegi rewaskularyzacyjne wykonane w obu analizowanych grupach chorych powiodły się, o czym świadczy istotny przyrost minimalnej średnicy zwężenia oraz istotna redukcja stopnia zwężenia naczynia poddanego angioplastyce wieńcowej. Jednak w grupie poddanej implantacji stentów pozabiegowa średnica naczynia w miejscu zwężenia była istotnie większa, a zwężenie rezydualne mniejsze niż u grupy pacjentów, u których wykonano angioplastykę balonową. Ponadto w odróżnieniu od grupy poddanej angioplastyce balonowej w wyniku stentowania stwierdzono istotny przyrost wielkości średnicy referencyjnej (tab. 2).

Tabela 1. Charakterystyka kliniczna pacjentów poddawanych zabiegom PTCR

Table 1. Clinical characteristics of the patients subjected to PTCR procedure

Średnia wieku	$52,5 \pm 5,5$
Przebyty zawał serca	47 (36,1%)
Nadciśnienie tętnicze	59 (45,3%)
Dyslipidemia	70 (53,8%)
Palenie tytoniu	104 (80%)
Cukrzyca	13 (10%)
Fracja wyrzutowa	$48 \pm 4\%$



Ryc. 3. A. Angiogram lewej tętnicy wieńcowej istotnie zwężonej na przejściu segmentu proksymalnego w dystalny gałęzi okalającej lewej; **B.** Ilościowa analiza angiogramu tej samej gałęzi okalającej lewej. Widoczny w prawym górnym rogu wykres przedstawia przebieg średnicy wzdłuż badanego segmentu. W dolnej części zdjęcia widoczne parametry geometryczne zwężenia pozwalające na jego obiektywizację. D ref — średnica referencyjna; D obs — minimalna średnica zwężenia; %DS — % redukcji średnicy; %AS — % pola powierzchni badanego segmentu; SFR — stenotyczna rezerwa przepływu wieńcowego, obliczana na podstawie parametrów geometrycznych

Fig. 3. A. Significant stenosis in the passage proximal to distal segment of the left circumflex coronary artery; **B.** Quantitative analysis of the left circumflex artery. Diagram of vessel diameter is presented in the right upper corner, while geometric parameters of the stenosis are presented in lower part of the image.

W porównaniu z grupą II (zabiegi stentowania) w grupie I (zabiegi angioplastyki balonowej) używano istotnie mniejszych cewników balonowych ($2,84 \pm 0,53$ vs $3,14 \pm 0,4$ mm, $p < 0,05$; odpowiednio grupa I vs II) oraz niższych ciśnień ($10,2 \pm 1,8$ vs $12,5 \pm 3$ atm, $p < 0,05$; odpowiednio grupa I vs II).

Analiza pomiarów *on-* oraz *off-line* dokonanych w obu grupach przed zabiegami PTCR wykazała brak istotnych różnic między nimi (tab. 2).

Wartości wszystkich parametrów uzyskane w pomiarach *on-line* po zabiegach angioplastyki

wieńcowej oraz implantacji stentu były większe w porównaniu z pomiarami *off-line*. Jedynie w przypadku minimalnej średnicy zwężenia w grupie POBA i STENT była to różnica istotna statystycznie. Uzyskane wyniki prezentuje tabela 2.

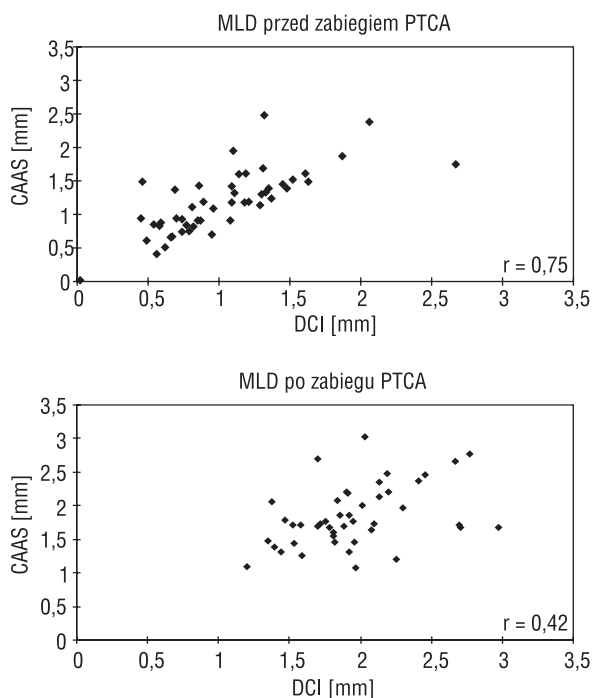
Analiza przedzabiegowych wartości parametrów QCA, uzyskanych w obu grupach pozwoliła na stwierdzenie istotnych statystycznie korelacji między pomiarami *on-* oraz *off-line*. Najsilniejszą korelację stwierdzono dla średnicy referencyjnej, natomiast najsłabszą dla stopnia redukcji średnicy zwężenia. Skuteczny zabieg rewaskularyzacyj-

Tabela 2. Zestawienie pomiarów *on-line* i *off-line* zwężonych segmentów naczyniowych

Table 2. Comparison of *on-line* – *off-line* measurements of stenosed segments

		Przed zabiegiem		p	Po zabiegu		p
		<i>on-line</i>	<i>off-line</i>		<i>on-line</i>	<i>off-line</i>	
POBA	MLD	$1,07 \pm 0,47$	$1,14 \pm 0,47$	NS	$1,95 \pm 0,41$	$1,84 \pm 0,46$	$p < 0,05$
	RD	$2,81 \pm 0,64$	$2,79 \pm 0,58$	NS	$2,86 \pm 0,57$	$2,74 \pm 0,54$	NS
	%DS	64 ± 13	59 ± 15	NS	31 ± 13	32 ± 11	NS
STENT	MLD	$1,03 \pm 0,39$	$0,98 \pm 0,41$	NS	$2,71 \pm 0,50^*$	$2,48 \pm 0,45^*$	$p < 0,05$
	RD	$3,0 \pm 0,39$	$2,84 \pm 0,60$	NS	$3,23 \pm 0,44^*$	$3,05 \pm 0,50^*$	NS
	%DS	66 ± 11	65 ± 13	NS	$16 \pm 12^*$	$17 \pm 9^*$	NS

* $p < 0,05$ dla POBA vs STENT i przed vs po zabiegu w grupie STENT; %DS — %redukcji średnicy; MLD — minimalna średnica zwężenia; RD — średnica referencyjna



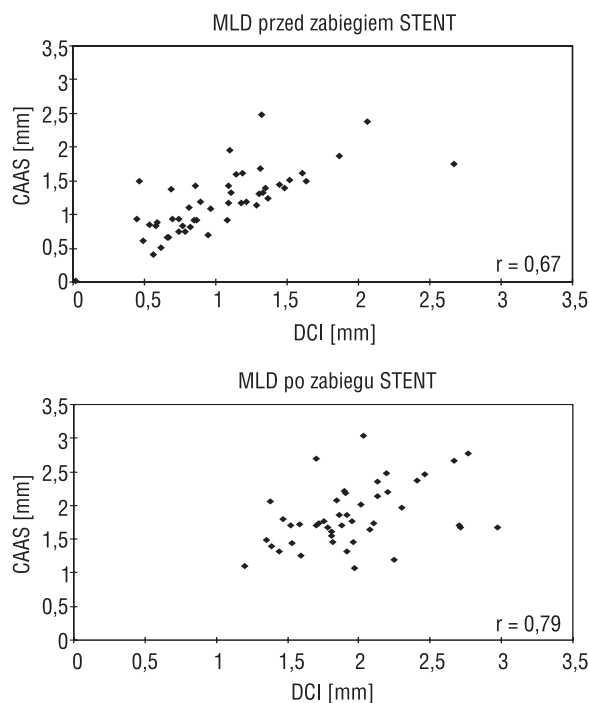
Ryc. 1. Pomiary minimalnej średnicy zwężenia dokonane przed (górny panel) oraz po (dolny panel) zabiegu angioplastyki balonowej. Na osi rzędnych zaznaczono wyniki pomiarów *off-line*, natomiast na osi odciętych — wyniki pomiarów *on-line*. Rozkład uzyskanych wyników świadczy o istotnej korelacji między nimi przed zabiegiem angioplastyki oraz o jej pogorszeniu po jego wykonaniu; CAAS, DCI — stosowane systemy QCA; MLD — minimalna średnica zwężenia.

Fig. 1. Charts show MLD measurements before (upper panel) and after (lower panel) angioplasty procedure (on-line measurements — abscissa, off-line measurements — ordinate). Distribution of the results proves significant correlation between them before procedure and lower correlation after procedure.

ny spowodował istotne pogorszenie korelacji dla minimalnej średnicy zwężenia w grupie POBA oraz polepszenie dla grupy STENT (ryc. 1, 2). W odróżnieniu od średnicy referencyjnej pogorszeniu w obu grupach uległy korelacje dla stopnia zwężenia średnicy naczynia, co przedstawia tabela 3.

Dyskusja

Angiografia ilościowa (QCA) istotnie wpływała na rozwój kardiologii interwencyjnej. W odróżnieniu od wcześniej stosowanej oceny wzrokowej koronarogramów (*eyeballing*), QCA zapewnia wysoką dokładność pomiaru oraz jego powtarzalność [4–6,



Ryc. 2. Pomiary minimalnej średnicy zwężenia dokonane przed (górny panel) oraz po (dolny panel) zabiegu implantacji stentu. Na osi rzędnych zaznaczono wyniki pomiarów *off-line*, natomiast na odciętych wyniki pomiarów *on-line*. Rozkład uzyskanych wyników świadczy o istotnej korelacji między nimi przed zabiegiem stentowania oraz o jej poprawie po jego wykonaniu; CAAS, DCI — stosowane systemy QCA; MLD — minimalna średnica zwężenia.

Fig. 2. Charts show MLD measurements before (upper panel) and after (lower panel) stent implantation (on-line measurements — abscissa, off-line measurements — ordinate). Distribution of the results proves significant correlation between them before procedure and its improvement after procedure.

9, 10]. W rezultacie sprzyja to zwiększeniu bezpieczeństwa zabiegów PTCR oraz obiektywnej ich ocenie [1, 8].

Obecnie istnieją dwie metody komputerowej analizy angiogramów [1, 2, 8, 11]. Jedna polega na wyznaczeniu zarysów naczynia na podstawie analizy granicy między naczyniem, a tłem (ED, *edge detection mode*), natomiast druga opiera się na analizie profilu densytometrycznego naczynia wypełnionego środkiem kontrastującym (VD, *videodensitometry mode*).

Aby uzyskać wartości rzeczywiste, uzyskane wyniki poddaje się kalibracji na podstawie wzorcowego przedmiotu (np. cewnik prowadzący w ED) lub profilu densytometrycznego segmentu uznanego za referencyjny, tj. o znanych wymiarach oraz kolistym

Tabela 3. Porównanie pomiarów *on-line* i *off-line* uzyskanych w obu grupach**Table 3.** Comparison of on-line – off-line treatment and posttreatment measurements in both groups

		POBA		STENT	
		Współczynnik r	p	Współczynnik r	p
Przed zabiegiem	MLD	0,75	< 0,05	0,42	NS
	RD	0,84	< 0,05	0,82	< 0,05
	%DS	0,63	< 0,05	0,38	NS
Po zabiegu	MLD	0,67	< 0,05	0,79	< 0,05
	RD	0,70	< 0,05	0,69	< 0,05
	%DS	0,63	< 0,05	0,45	NS

*p < 0,05 dla POBA vs STENT i przed vs po zabiegu w grupie STENT; %DS — %redukcji średnicy; MLD — minimalna średnica zwężenia; RD — średnica referencyjna

przekroju poprzecznym. Odpowiednie programy komputerowe automatycznie przedstawiają wyniki w postaci wykresu, ilustrującego zachowanie się średnicy (w ED), lub pola przekroju poprzecznego (w VD) wzdłuż przebiegu naczynia. Obecnie przeważa opinia, że na obecnym etapie rozwoju angiografii ilościowej ED jest metodą lepszą, o większej powtarzalności. Jest to szczególnie ważne w przypadku angiograficznych badań wielośrodkowych, gdzie podstawą wiarygodności uzyskanych wyników jest proces standaryzacji [1, 9, 12], dlatego w swoich badaniach autorzy użyli systemów wykorzystujących algorytm ED [1, 7].

Uzyskana w badaniu autorów większa średnica zwężenia oraz mniejsze zwężenie rezydualne po implantacji stentu dowodzi istotnie większej efektywności tego zabiegu w porównaniu z angioplastyką balonową. Właśnie ten ostatni parametr, wyrażany procentowo, wykorzystuje się najczęściej do kwalifikacji pacjenta do leczenia interwencyjnego oraz oceny jego wyników [1, 13]. Analiza zachowania się rezydualnego stopnia zwężenia w grupie poddanej stentowaniu wykazała, iż nie osiągnięto w niej zamierzonego (tj. optymalnego) wyniku zabiegu. Warto podkreślić, że analizowaną grupę poddano PTCR w latach 1995–1996, kiedy powszechnie przyjmowano łagodniejsze kryteria skuteczności tego zabiegu, tj. większej wartości rezydualnego zwężenia (50% dla POBA i 30% dla STENT). Jednak wówczas dostępność stentów wynosiła tylko ok. 50% zapotrzebowania i zapewne było to powodem stosowania przez operatorów mniejszych wartości ciśnień podczas zabiegu PTCR.

Minimalna średnica zwężenia najlepiej odzwierciedla znaczenie czynnościowe danej zmiany obstrukcyjnej. Jednak jej praktyczne stosowanie nie jest łatwe, głównie ze względu na brak możliwości ustalenia tzw. „średnicy granicznej” zwężenia, po-

zwalającej na prawidłowy przepływ krwi. Wartość ta pozostaje w ścisłym związku ze średnicą danego naczynia charakteryzującą się dużą zmiennością osobniczą [1, 2, 13].

Zabieg PTCR wiąże się nierozzerwalnie z mniejszym lub większym stresem, związanym z odpowiedzialnością, stąd wynika możliwość zawiązania stopnia zwężenia poddawanego leczeniu oraz polepszaniu jego wyniku końcowego, poprzez zaniżanie stopnia zwężenia [1, 4, 14–16]. W badaniu autorów wartości minimalnej średnicy zwężenia, średnicy zwężenia oraz stopnia zwężenia wyznaczane przed PTCR, nie różniły się istotnie między sobą. Fakt ten świadczy o dużej dokładności oraz precyzji wykonania pomiarów ilościowych. Uzyskanie istotnych korelacji dla przedzabiegowych wartości ilościowych parametrów angiograficznych z pomiarów *on-* oraz *off-line* jest tego potwierdzeniem. Z pewnością sprzyjał temu fakt, iż u chorych poddawanych PTCR występowała stabilna postać choroby wieńcowej, a angiograficzny obraz zwężeń nie obejmował tzw. postaci złożonych (cechy owrzodzenia, zakrzepu czy rozwarstwienia). Niższe wartości (jednak nieistotnie statystycznie) pozabiegowej minimalnej średnicy zwężenia w pomiarze *off-line* są zgodne ze znaną z piśmiennictwa tendencją zwiększonego krytycyzmu przy powtórnej ocenie wyniku zabiegu PTCR [6, 9].

Utrata istotnej korelacji między wynikami *on-* i *off-line* dla minimalnej średnicy zwężenia po angioplastyce balonowej była związana z mechanizmem powiększania światła. W wyniku działania balonika angioplastycznego następuje pęknięcie oraz rozwarstwianie blaszki miażdżycowej, co zaburza jednorodnie zacienianie naczynia, a tym samym pomiar tego parametru [14–16]. Wprowadzony w drugiej połowie lat 90. algorytm GFT

(*gradient filter transform*) zdecydowanie poprawia wiarygodność pomiaru zwężeń o nieregularnych, ostrych brzegach oraz stosunkowo krótkich, zlokalizowanych, w ujściach dużych gałęzi [17]. Niestety, w użytych przez autorów systemach pomiarowych nie wykorzystano go. W odróżnieniu od angioplastyki balonowej implantacja stentu prowadzi do odtwarzania pierwotnego zarysu naczynia, co ułatwia pomiar minimalnej średnicy zwężenia po zabiegu, dlatego poprawa korelacji pomiarów *on-* oraz *off-line* dla tego parametru jest znaczna. Można przypuszczać, iż użycie wyższych ciśnień w czasie implantacji jeszcze bardziej poprawiłoby tę korelację. Najlepsze korelacje między wynikami *on-* oraz *off-line* uzyskano dla średnicy referencyjnej bez względu na rodzaj zabiegu PTCR, co wiąże się z brakiem istotnych cech miażdżycy w miejscach uznanych za referencyjne, a utrudniających powtarzalność pomiaru. Stopień zwężenia średnicy naczynia uzyskuje się ze stosunku minimalnej średnicy zwężenia i średnicy referencyjnej naczynia, dlatego różnice w obu tych parametrach na skutek PTCR wpływają na osłabienie korelacji pomiarów *on-* oraz *off-line*.

Wnioski

Pomimo znanych powszechnie ograniczeń [14–16] angiografia ilościowa ze względu na stosunkowo niski koszt i powszechną dostępność jeszcze długo pozostanie podstawową metodą stosowaną zarówno podczas kwalifikacji zwężonych naczyń do leczenia interwencyjnego, jak i do oceny jego efektów.

Niniejsza praca dowodzi, iż pomiar ilościowy koronarogramu dokonywany w trakcie PTCR dobrze odzwierciedla zaawansowanie choroby wieńcowej oraz oddaje wynik końcowy zabiegu. Jednak warto pamiętać, iż pomiar *on-line* efektu PTCR jest obarczony błędem subiektywizmu, istotnym dla angioplastyki balonowej. Zatem, aby uzyskać rzeczywiste wartości PTCR (zwłaszcza gdy zabiegi wykonuje się w wielu ośrodkach), wręcz niezbędna jest ich obiektywizacja poprzez pomiar *off-line* dokonywany w kwalifikowanych ośrodkach obliczeniowych (*Core Labs*), już funkcjonujących w zachodniej Europie oraz Stanach Zjednoczonych. Należy mieć nadzieję, że taki ośrodek powstanie również w naszym kraju.

Streszczenie

Porównawcza analiza ilościowa

Wstęp: Ilościowa analiza koronaroangiogramów (QCA) dostarcza geometrycznych parametrów zwężenia wieńcowego, co w istotny sposób ułatwia kwalifikację, zwiększa bezpieczeństwo oraz efektywność wykonywanych zabiegów rewaskularyzacyjnych.

Materiał i metody: Analizie poddano angiogramy przed- i pozabiegowe grupy 73 pacjentów z chorobą niedokrwienną serca, u których wykonano zabiegi PTCA i implantacji stentu, w okresie od czerwca 1995 do listopada 1996 roku. Pomiarom ilościowym poddano istotnie zwężone segmenty naczyniowe. Oceniono następujące parametry: średnicę w miejscu największego zwężenia (MLD), średnicę referencyjną (RD) oraz stopień redukcji średnicy naczynia (%DS), których pomiar wykonano podczas (*on-line*), jak i po kilku dniach (*off-line*) od wykonanego zabiegu.

Wyniki: Analiza przedzabiegowych wartości QCA wykazała istotną statystycznie zależność między pomiarami *on-* oraz *off-line*. Najsilniejszą korelację stwierdzono dla średnicy referencyjnej, natomiast najslabszą dla stopnia redukcji średnicy zwężenia. Skuteczny zabieg rewaskularyzacyjny spowodował istotne pogorszenie korelacji dla minimalnej średnicy zwężenia u pacjentów poddanych PTCA oraz jej polepszenie dla pacjentów, którym implantowano stent.

Wnioski: Pomiar ilościowy angiogramu dokonany w trakcie zabiegu (*on-line*) dobrze obrazuje zaawansowanie choroby wieńcowej oraz prognozuje jego wynik końcowy. Ze względu na możliwość wpływu subiektywnej oceny na wynik zabiegu, konieczna jest obiektywizacja przez wykonanie pomiaru *off-line*. (Folia Cardiol. 2001; 8: 347–353)

angiografia ilościowa, angioplastyka wieńcowa, stent wieńcowy

Piśmiennictwo

1. Foley D.P., Escaned J., Strauss B.H., Di Mario C., Haase J., Keane D. i wsp. Quantitative coronary angiography (QCA) in interventional cardiology: clinical application of QCA measurements. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1994; 36: 363–384.
2. Strauss B.H., Escaned J., Foley D.P., Di Mario C., Haase J., Keane D. i wsp. Technologic considerations and practical limitations in the use of quantitative angiography during percutaneous coronary recanalization. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1994; 36: 343–362.
3. Katritsis D., Lythall D.A., Anderson M.H., Cooper I.C., Webb-Peploe M.W. Assessment of coronary angioplasty by an automated digital angiographic method. *Am. Heart J.* 1988; 116: 1181–1187.
4. Gurley J.C., Nissen S.E., Booth D.C., DeMaria A.N. Influence of operator- and patient-dependent variables on the suitability of automated quantitative coronary arteriography for routine clinical use. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1992; 19: 1237–1243.
5. Reiber J.H., van der Zwet P.M., Koning G., von Land C.D., van Meurs B., Gerbrands J.J. i wsp. Accuracy and precision of quantitative digital coronary arteriography: observer-, short-, and medium-term variabilities. *Cathet. Cardiovasc. Diagn.* 1993; 28: 187–198.
6. Sanz M.L., Mancini J., LeFree M.T., Mickelson J.K., Starling M.R., Vogel R.A. i wsp. Variability of quantitative digital subtraction coronary angiography before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 1987; 60: 55–60.
7. van der Zwet P.M., van Land C.D., Loois G., Gerbrands J.J., Reiber J.H.C. An on-line system for the quantitative analysis of coronary arterial segments. *Comp. Cardiol.* 1990; 157–160.
8. Gil R. Koronarografia — nadal „złoty standard” w diagnostyce choroby niedokrwiennej serca. *Kardiol. Pol.* 1999; 51: 64–68.
9. Selzer R.H., Hagerty C., Azen S.P., Siebes M., Lee P., Shircore A. i wsp. Precision and reproducibility of quantitative coronary angiography with applications to controlled clinical trials. A sampling study. *J. Clin. Invest.* 1989; 83: 520–526.
10. Bertrand M.E., Lablanche J.M., Bauters C., Leroy F., Mac F.E. Discordant results of visual and quantitative estimates of stenosis severity before and after coronary angioplasty. *Cathet. Cardiovasc. Diagn.* 1993; 28: 1–6.
11. Mancini G.B. Quantitative coronary arteriographic methods in the interventional catheterization laboratory: an update and perspective. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1991; 17: 23B–33B.
12. Katritsis D., Webb-Peploe M.M. Angiographic quantitation of the results of coronary angioplasty: where do we stand? *Cathet. Cardiovasc. Diagn.* 1990; 21: 65–71.
13. Marcus M.L., Harrison D.G., White C.W., McPherson D.D., Wilson R.F., Kerber R.E. Assessing the physiologic significance of coronary obstructions in patients: importance of diffuse undetected atherosclerosis. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1988; 31: 39–56.
14. Nakamura S., Mahon D.J., Maheswaran B., Gutfinger D.E., Colombo A., Tobis J.M. An explanation for discrepancy between angiographic and intravascular ultrasound measurements after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1995; 25: 633–639.
15. De Scheerder I., De Man F., Herregods M.C., Wilczek K., Barrios L., Raymenants E. i wsp. Intravascular ultrasound versus angiography for measurement of luminal diameters in normal and diseased coronary arteries. *Am. Heart J.* 1994; 127: 243–251.
16. Kubica J., Marsico F., De Servi S., Sielski S., Radomski M., Angoli L. i wsp. Angiograficzna i ultrasonograficzna ocena ilościowa światła tętnic wieńcowych. *Folia Cardiol.* 1999; 6: 376–387.
17. van der Zwet P.M., Reiber J.H. A new approach for the quantification of complex lesion morphology: the gradient field transform; basic principles and validation results. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1994; 24: 216–224.