



REDAKTOR DZIAŁU
dr n. med.
Janusz Kochman
Kierownik Pracowni
Kardiologii
Inwazyjnej
I Katedra i Klinika
Kardiologii
Warszawskiego
Uniwersytetu
Medycznego

Nietrudno zauważyć, że dział kardiologii inwazyjnej wystartował w tym roku z pewnym opóźnieniem, za co chciałem czytelników gorąco przeprosić i obiecać jednocześnie, że postaramy się, aby w kolejnych odcinkach (które będą się ukazywać regularnie) poruszane były zagadnienia z jednej strony przydatne w codziennej praktyce klinicznej, a z drugiej będące podsumowaniem gorących tematów w kardiologii inwazyjnej.

Zdecydowaliśmy się rozpocząć dosyć nietypowo, zamieszczając artykuł, który pozornie nie omawia bezpośrednio problemów angioplastyki wieńcowej, niemniej dotyka niezwykle ważnej kwestii, jaką jest ocena żywotności kardiomiocytów, zwłaszcza w kontekście kwalifikacji do zabiegów rewaskularyzacyjnych.

Artykuł pochodzi z Zakładu Medycyny Nuklearnej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, z którym od lat ściśle współpracujemy, korzystając z dużego doświadczenia pracującego tam zespołu w zakresie wykonywania badań radioizotopowych. Możliwości diagnostyczne Zakładu poszerzyły się ostatnio o badanie pozytonowej tomografii emisyjnej (PET), której zastosowanie wykracza poza diagnostykę onkologiczną.

Zapraszam czytelników do zapoznania się z możliwościami tej metody, która pozwala na nieinwazyjną ocenę zarówno ukrwienia, jak i żywotności miokardium dzięki zastosowaniu znaczników biorących bezpośrednio udział w procesach metabolicznych. Wykorzystanie jednoczesnej rejestracji obrazu PET i TK daje dodatkowe korzyści w postaci fuzji obrazów: anatomicznego TK i funkcjonalnego PET. Wydaje się, że to nowe (w polskich warunkach) narzędzie diagnostyczne powinno ułatwić podejmowanie trudnych decyzji dotyczących strategii postępowania u osób z dużym uszkodzeniem funkcji skurczowej serca, pozwalając na wyodrębnienie grupy chorych z zachowanym żywotnym mięśniem, u których przeprowadzenie zabiegów rewaskularyzacyjnych może przynieść znaczące korzyści kliniczne. Życzę przyjemnej lektury.

Janusz Kochman

Ocena żywotności mięśnia sercowego w PET

Małgorzata Kobylecka,¹ Tomasz Mazurek,² Leszek Królicki¹

Adres:

¹Zakład Medycyny Nuklearnej

Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

²I Katedra i Klinika Kardiologii

Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Adres do korespondencji:

Samodzielny Publiczny Centralny Szpital Kliniczny

Zakład Medycyny Nuklearnej

ul. Banacha 1a

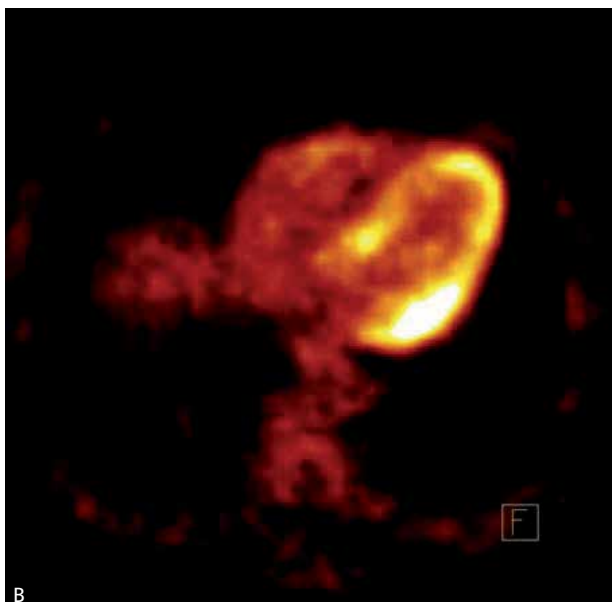
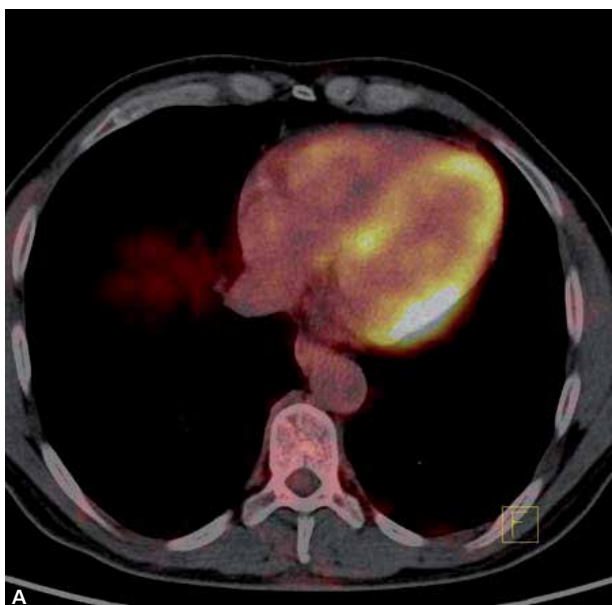
02-097 Warszawa

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) jest techniką obrazowania z zakresu medycyny nuklearnej, która wykorzystuje radiofarmaceutyki znakowane radioizotopami emitującymi pozytony, czyli dodatnio naładowane elektrony. Radioizotopy takie są sztucznie otrzymywane w cyklotronie. Należą do nich niestabilne izotopy pierwiastków stanowiących podstawę budowy organizmów żywych: tlenu (¹⁵O), azotu (¹³N), węgla (¹¹C) i fluoru (¹⁸F). Główne ograniczenie ich stosowania stanowią bardzo krótkie czasy połowicznego rozpadu, wynoszące odpowiednio dla ¹⁵O – 2 min, dla ¹³N – 10 min, dla ¹¹C – 20 min. Najszerze praktyczne zastosowanie kliniczne znalazła ¹⁸F-fluorodezoksyglukoza (¹⁸F-FDG) o czasie półtrwania 109 min. Unikalną właściwością techniki PET jest możliwość dokładnej ilościowej oceny zarówno procesów metabolicznych, np. zużycia glukozy na gram tkanki, jak i przepływu krwi w badanych narządzie. Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) jest obecnie rutynowo łączona z tomografią komputerową transmisyjną (TK), co pozwala na jednoczesną i nieinwazyjną ocenę struktury anatomicznej i ukrwienia oraz metabolizmu badanych narządów.

W ostatnich latach w Polsce znacząco wzrosła liczba urządzeń PET, których głównym zastosowaniem jest diagnostyka pacjentów z chorobami nowotworowymi. Należy pamiętać, że poza diagnostyką nowotworów badania PET znajdują coraz szersze zastosowanie w diagnostyce kardiologicznej. PET pozwala na nieinwazyjną ocenę zarówno ukrwienia, jak i metabolizmu mięśnia sercowego. Wykonanie badania u osób z chorobą niedokrwinną serca pozwala na identyfikację chorych zagrożonych incydentami wieńcowymi oraz na wyodrębnienie grupy, w której przeprowadzenie zabiegów rewaskularyzacyjnych jest uzasadnione ze względu na obecność żywotnego mięśnia. Rutynowo do diagnostyki zwężenia tętnicy wieńcowej o znaczeniu hemodynamicznym stwierdzone-

go na podstawie badania angiograficznego wykorzystywana jest scyntygrafia perfuzyjna SPECT. Badanie perfuzyjne SPECT służy do oceny rezerwy wieńcowej. Uwidocznienie odwracalnego ubytku perfuzji, czyli obecnego w badaniu wysiłkowym i ulegającego reperfuzji w spoczynku, jest równoznaczne z obecnością niedokrwionego mięśnia w zakresie unaczynienia zwężonego naczynia. Ubytek trwały w badaniu perfuzyjnym SPECT oznacza obecność blizny. Uważa się jednak, że u ok. 50% osób z przewlekłą chorobą wieńcową w strefie zawału można stwierdzić obecność mięśnia żywotnego w stanie hibernacji. Technika PET daje unikalną możliwość identyfikacji takiego mięśnia dzięki zastosowaniu znaczników biorących bezpośrednio udział w procesach metabolicznych. Podstawowym zastosowaniem klinicznym PET w kardiologii jest więc ocena żywotności mięśnia sercowego poprzez pomiar metabolizmu komórkowego *in vivo*.

Mięsień sercowy używa różnych substratów do produkcji energii, przede wszystkim wolnych kwasów tłuszczowych, glukozy i mleczanów, co wykorzystywane jest w badaniach PET. Fizjologicznie w warunkach prawidłowego tlenowego metabolizmu preferencyjnym substratem do produkcji energii przez miokardium są wolne kwasy tłuszczowe, których zużycie na czczo stanowić może nawet do 60-70%, podczas gdy zużycie węglowodanów (glukozy) i mleczanów ogranicza się do pozostałych 30%. Proporcje zużycia zależą od podaży substratów, stężenia hormonów (głównie insuliny), obciążenia oraz perfuzji mięśnia sercowego. Na czczo głównym źródłem energii są wolne kwasy tłuszczowe, ponieważ małe stężenie insuliny w osoczu poprzez zwiększoną lipolizę w obwodowej tkance tłuszczowej zwiększa ich stężenie. Zwiększenie metabolizmu wolnych kwasów tłuszczowych powoduje zahamowanie zarówno dokomórkowego transportu glukozy, jak i jej przemian wewnątrzkomórkowych. Stopień zużycia glukozy zwiększa się znacząco po posiłku, gdy



RYCINA 1

Heterogenne gromadzenie ^{18}F -FDG w mięśniu sercowym. Uwidoczniono przekrój poprzeczny klatki piersiowej na poziomie komór serca. Obszar mięśnia w rzucie przegrody i ściany bocznej przykoniuszkowo nie gromadzi FDG, ściana boczna przypodstawnie wykazuje dużą uptylizację glukozy. A. Fuzja obrazu PET/TK serca. B. Obraz PET.

rośnie stężenie glukozy i insuliny we krwi. Następuje zahamowanie lipolizy w tkance tłuszczowej, a glukoza staje się głównym substratem przemian tlenowych [1].

Profil metaboliczny miokardium zmienia się jednak nie tylko w związku z podażą substratów, lecz również zależy od stopnia ukrwienia, a więc dostawy tlenu. Nawet niewielkie niedokrwienie powoduje czasowe przejście metabolizmu mięśnia na beztlenowe spalanie glukozy. Powrót prawidłowego ukrwienia po rewaskularyzacji powoduje ponowne przełączenie się miocytów na metabolizm wolnych kwasów tłuszczowych. Preferencyjne zużycie glukozy stwierdza się również w przeroście mięśnia sercowego. Preferencyjne zużycie wolnych kwa-

sów tłuszczowych jest natomiast typowe dla metabolicznej adaptacji mięśni w cukrzycy, w kardiomiopatii rozstrzeniowej oraz w otyłości, a ponadto fizjologicznie wzrasta z wiekiem [1]. Wychwyty substratów w różnych obszarach mięśnia sercowego może być zróżnicowany, będąc w rezultacie przyczyną heterogenicznego rozkładu radiofarmaceutyku w mięśniu (ryc. 1).

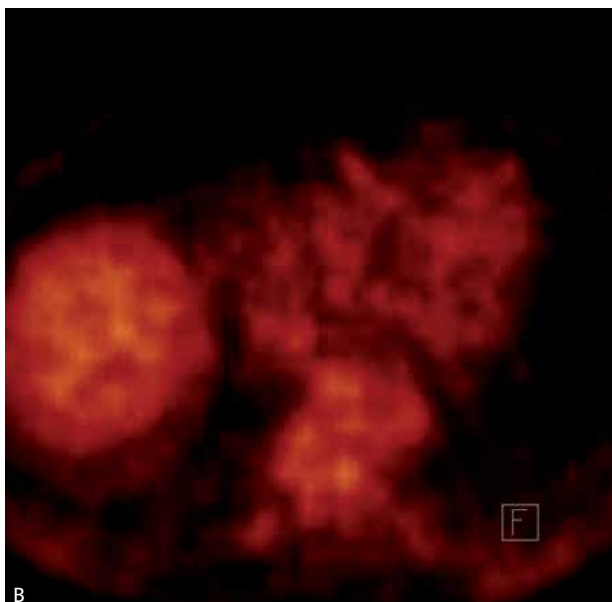
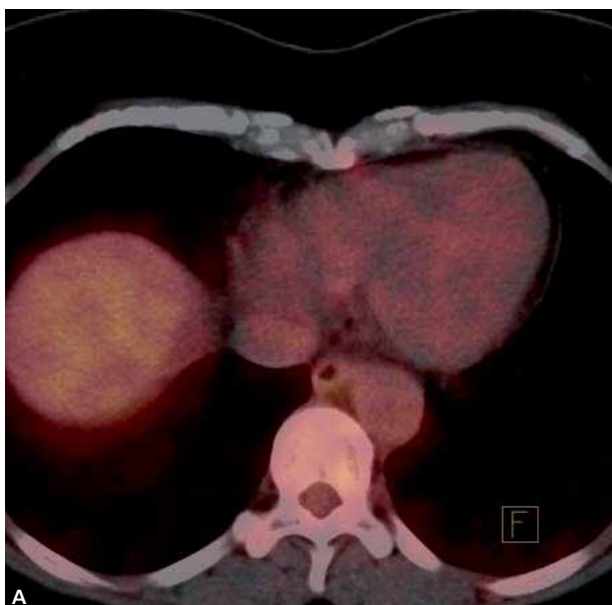
Do oceny metabolizmu mięśnia sercowego stosowanych jest wiele znakowanych radioizotopami pozytonowymi substancji, wchodzących najczęściej bezpośrednio w procesy fizjologicznych przemian metabolicznych mięśnia. Tlen (^{15}O) i znakowane węglem ^{11}C octany, stosowane są w celu ilościowej oceny zużycia tlenu. Tlenowy metabolizm kwasów tłuszczowych oceniany jest poprzez zastosowanie kwasu palmitynowego znakowanego ^{11}C oraz innych rzadziej wykorzystywanych analogów, np. ^{11}C -FTHA. Dla oceny hipoksji prowadzone są próby zastosowania fluoromizonidazolu i nitroimidazolu, które ulegają akumulacji jedynie w obszarze niedokrwienia, natomiast wymywane są z obszarów martwicy i prawidłowo utlenowanego mięśnia. Do oceny zarówno tlenowych, jak i beztlenowych przemian węglowodanów służy fluorodeoksyglukoza (^{18}F -FDG) lub ^{11}C -glukoza.

Mleczany i pirogroniany znakowane ^{11}C

Zarówno kwas mlekowy, jak i pirogronowy znajdują zastosowanie w ocenie metabolizmu mięśnia sercowego, pomimo ich złożonej kinetyki. W spoczynku metabolizm mleczanów w komórkach mięśnia sercowego koreluje ze stężeniem mleczanów w surowicy. Liniowa zależność ulega zmianie wraz z wykonywanym wysiłkiem fizycznym lub wraz z indukcją niedokrwienia mięśnia. W celu oceny spalania mleczanów stosowany jest wielokompartментowy model matematyczny, który z dużym powodzeniem pozwala na ocenę procesów metabolicznych, zwłaszcza u chorych na cukrzycę lub z niedokrwieniem mięśnia sercowego.

Palmitynian znakowany ^{11}C

Palmityniany stanowią ok. 25% wszystkich długołańcuchowych kwasów tłuszczowych krążących we krwi. Znakowany węglem ^{11}C palmitynian ulega szybkiej ekstrakcji z krwi do komórek miokardium. Po szybkiej fazie naczyniowej w ocenie klirensu radiofarmaceutyku stwierdza się dwufazową, eksponentalną krzywą. Pierwsza faza odzwierciedla mitochondrialną beta-oksydację kwasów tłuszczowych w miokardium. Druga wolniejsza faza odzwierciedla powolne wbudowywanie palmitynianów do puli cytoplazmatycznych triglicerydów, fosfolipidów i aminokwasów. Ze względu na skomplikowany model matematyczny klirensu palmitynianu obecnie do oceny metabolizmu kwasów tłuszczowych wprowadza się znakowane analogi kwasów tłuszczowych umożliwiające prostszą ocenę procesu beta-oksydacji.



RYCINA 2

Gromadzenie ^{18}F -FDG u chorego będącego na czczo. Uwidoczniono przekrój poprzeczny klatki piersiowej na poziomie komór serca. Brak istotnego gromadzenia ^{18}F -FDG w mięśniu. Chory nieprzygotowany do badania PET serca – obraz nie nadaje się do interpretacji. **A.** Fuzja obrazu PET/TK serca. **B.** Obraz PET.

Octany znakowane ^{11}C

Zastosowanie znakowanych węglem ^{11}C octanów pozwala obecnie na najdokładniejszą nieinwazyjną ilościową ocenę zużycia tlenu przez miokardium (MVO_2). Znakowane octany są dwuwęglowymi fragmentami wolnych kwasów tłuszczowych. Ulegają szybkiej ekstrakcji do komórek miokardium i następnie są w całości przekształcane w acetylokoenzym A (acetyloCoA). AcetyloCoA jest spalany w cyklu Krebsa (kwasów trójkarboksylowych), octany odzwierciedlają więc tlenowy metabolizm mięśnia sercowego. Najprostszej oceny ilościowego zużycia tlenu przez mięsień sercowy można dokonać, śledząc kinetykę

^{11}C -octanów i analizując liniową część krzywej zmian aktywności w czasie (kmono). Jest to najczęściej stosowana technika umożliwiająca ilościowe pomiary metabolizmu tlenowego serca.

^{18}F -fluorodeoksyglukoza

Najszerze zastosowanie w praktyce klinicznej znajduje fluorodeoksyglukoza, znakowana fluorem ^{18}F , która obrazuje procesy metaboliczne zachodzące w obszarze niedokrwionego mięśnia sercowego. ^{18}F -FDG konkuruje z glukozą na etapie transportu do komórki i w procesie wewnątrzkomórkowej fosforylacji. Radiofarmaceutyk, po przedostaniu się do komórki, jest w niej magazynowany, w odróżnieniu od glukozy, która ulega dalszym przemianom. Dlatego ilość zgromadzonego ^{18}F -FDG odpowiada aktywności metabolicznej komórki. W przypadku mięśnia żywego i niedokrwionego wychwyty glukozy jest prawidłowy lub podwyższony pomimo braku widocznego przepływu krwi i zaburzonej kurczliwości. Natomiast dla martwicy mięśnia sercowego charakterystyczne jest współistnienie zaburzeń kurczliwości, ze znaczną redukcją zarówno przepływu krwi, jak i wychwyty ^{18}F -FDG.

W wielu przypadkach w stanie głodzenia znakowana glukoza niemal wcale nie przedostaje się do komórek (ryc. 2).

Ze względu na profil metaboliczny komórek mięśnia sercowego do uzyskania optymalnego gromadzenia glukozy w miokardium (ryc. 3) podanie FDG wymaga specjalnego przygotowania pacjenta.

Znaczne gromadzenie znakowanej glukozy w mięśniu sercowym jest uzyskiwane w stanie hiperinsulinemii i euglikemii, w którym wahania stężenia insuliny, glukozy i wolnych kwasów tłuszczowych są niewielkie. Stosowane są liczne protokoły przygotowania pacjenta, obejmujące doustne lub dożylnie podanie glukozy (5% lub stężonej), często z podaniem insuliny krótkodziałającej. Wybór protokołu zależy od celu badania, rodzaju urządzenia PET oraz doświadczeń własnych. Stosowane protokoły są ponadto modyfikowane w zależności od zmieniającego się stężenia glukozy we krwi w trakcie podawania glukozy. Ponieważ znakowana glukoza i zwykła glukoza są transportowane do komórek z takim samym powinowactwem i z wykorzystaniem tego samego mechanizmu, monitorowanie stężenia glukozy we krwi w trakcie przygotowania do badania jest niezmiernie istotne. Jeśli stężenie glukozy przekroczy 150 mg/ml, FDG nie zgromadzi się w komórkach miokardium ze względu na zbyt dużą kompetycję. Konieczne jest więc bezwzględne obniżenie stężenia glukozy do wartości poniżej 150 mg/ml przed podaniem FDG.

Nawet po przygotowaniu pacjenta wychwyty glukozy w sercu jest fizjologicznie heterogenny: większy w okolicy ściany bocznej i dolnej, mniejszy w przegrodzie. Z tego powodu konieczna jest jednoczesna ocena perfuzji i metabolizmu mięśnia, ponieważ brak wychwyty glukozy nie jest jednoznaczny z obecnością martwicy. W wielu przypadkach, gdy zachowana jest perfuzja, brak utyliza-

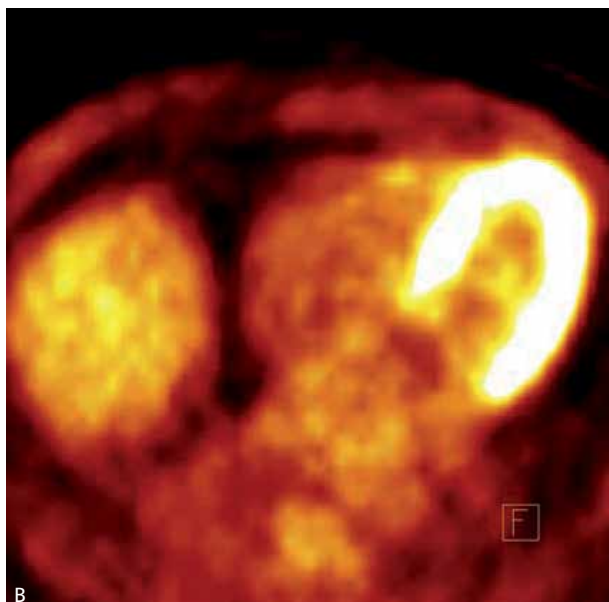
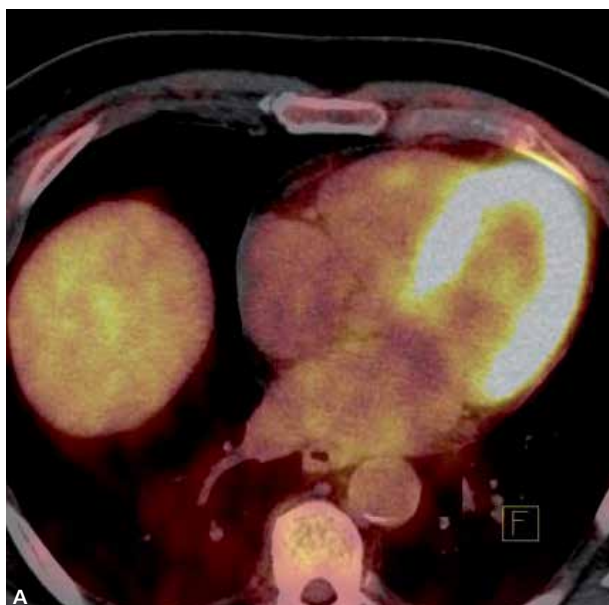
cji glukozy wskazuje na obecność prawidłowo ukrwionego mięśnia zużywającego wolne kwasy tłuszczowe, a nie glukozę. Perfuzję krwi do badania PET można oceniać zarówno w klasycznej scyntygrafii perfuzyjnej SPECT, jak i w badaniu perfuzyjnym PET. Markerami perfuzji w badaniu PET są: ^{15}O -woda, ^{13}N -amoniak, ^{82}Rb -chlorurek. Ponieważ czasy połowicznego rozpadu większości radioizotopów są bardzo krótkie (rzędu kilku lub kilkunastu minut), ogranicza to w istotnym stopniu szersze kliniczne zastosowanie znakowanej wody i amoniaku. Synteza preparatu i produkcja radioizotopu musi odbywać się w bezpośredniej bliskości urządzenia PET, gdyż inaczej radiofarmaceutyk ulega rozpadowi, a transport ze względów fizycznych na większe odległości jest wykluczony. Natomiast rubid, będący analogiem potasu, użytkować można na bieżąco z generatora dostarczanego na miejsce raz w miesiącu. Z tego powodu w praktyce klinicznej najczęściej metaboliczne badanie PET wykonywane jest wraz z badaniem perfuzyjnym SPECT.

Wyniki badania perfuzyjnego i metabolizmu mięśnia interpretowane są łącznie. Obecność perfuzji spoczynkowej wskazuje na zachowaną żywotność i funkcję mięśnia i wyklucza obecność martwicy lub mięśnia zamrożonego w badanym obszarze. Brak perfuzji w badaniu spoczynkowym musi być dalej oceniany pod kątem różnicowania pomiędzy mięśniem zamrożonym i bliźną (tabela).

Gromadzenie glukozy w tych obszarach na poziomie od 50 do 100% maksimum określonego w rzucie mięśnia sercowego wskazuje na zachowaną żywotność. Brak gromadzenia lub śladowe gromadzenie ^{18}F -FDG w obszarze braku perfuzji wskazuje na martwicę. Heterogeniczny wychwyty glukozy przez prawidłowo ukrwiony mięsień serca wyklucza interpretację żywotności mięśnia, bez analizy jego ukrwienia. Często stwierdza się (pomimo przygotowania pacjenta do badania) brak gromadzenia glukozy w obszarach o prawidłowej perfuzji (ryc. 4).

Taki obraz nie świadczy o martwicy, lecz o prawidłowym metabolizmie mięśnia preferencyjnie zużywającego wolne kwasy tłuszczowe. Glukoza jest preferencyjnie zużywana przez mięsień niedokrwiony ze względu na możliwość jej beztlenowej przemiany w stanie niedoboru tlenu spowodowanego przewlekłym niedokrwieniem. Natomiast brak gromadzenia glukozy i brak perfuzji wskazuje na obecność martwicy.

Wartość badania PET jest największa przy ocenie wielkości obszaru mięśnia sercowego, w którym po rewaskularyzacji wieńcowej kurczliwość ulegnie poprawie. Istnieje dodatnia zależność pomiędzy wielkością takiego obszaru a istotnym zmniejszeniem śmiertelności odległej [2].



RYCINA 3

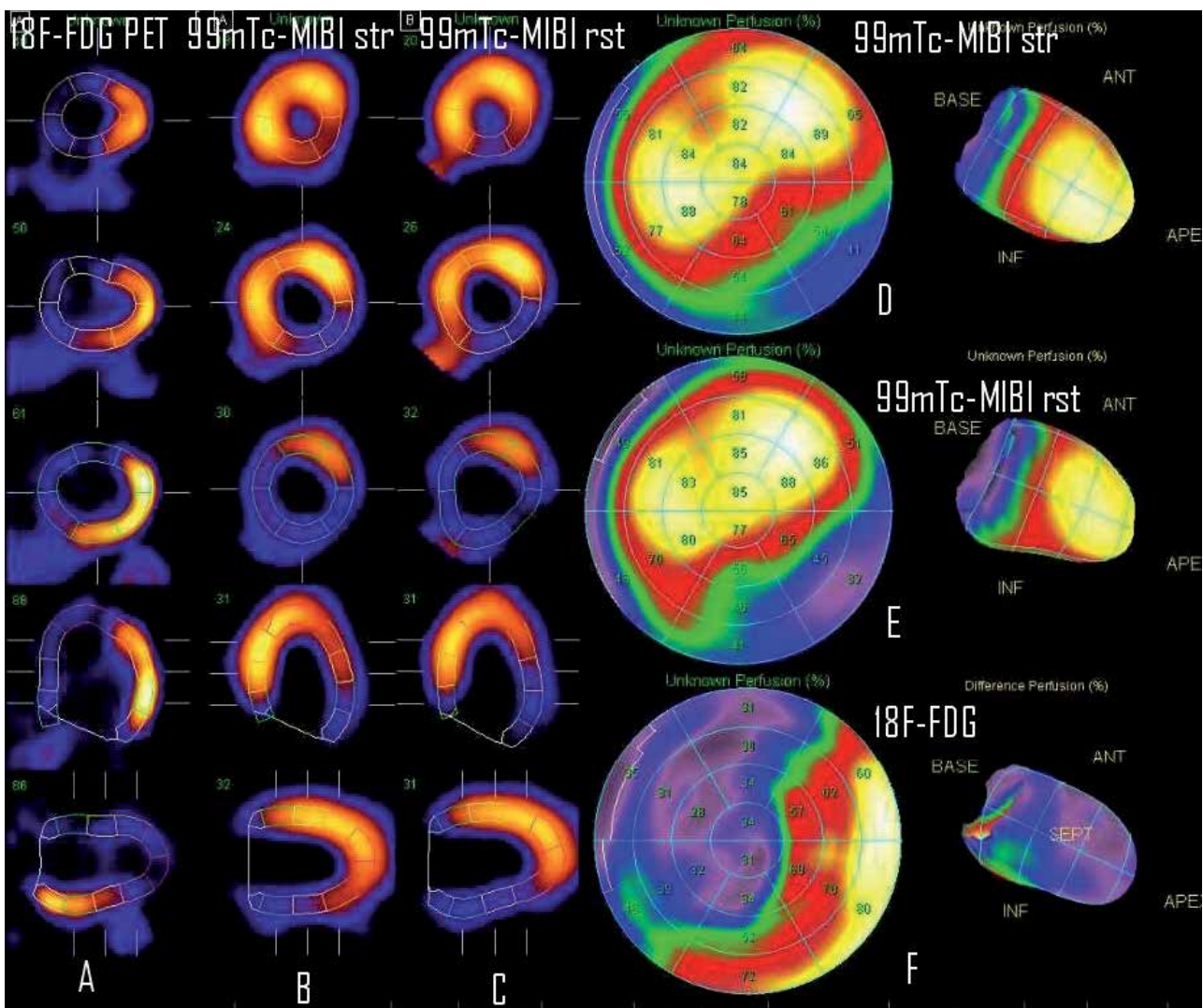
Gromadzenie ^{18}F -FDG u chorego po posiłku. Uwidoczniono przekrój poprzeczny klatki piersiowej na poziomie komór serca. Stwierdza się duże gromadzenie się FDG w mięśniu całej lewej komory serca.

A. Fuzja obrazu PET/TK serca. B. Obraz PET.

Poza oceną mięśnia w stanie hibernacji perfuzyjne wysiłkowe badanie PET znajduje coraz szersze zastosowanie we wstępnej diagnostyce choroby wieńcowej oraz w ocenie stopnia jej zaawansowania. Obecnie, rutynowo,

TABELA Rozróżnienie martwicy i hibernacji na podstawie badania PET

	Norma	Hibernacja	Martwica
Perfuzja	+	-	-
Metabolizm glukozy	+ lub -	++	-
Funkcja skurczowa	+	-	-

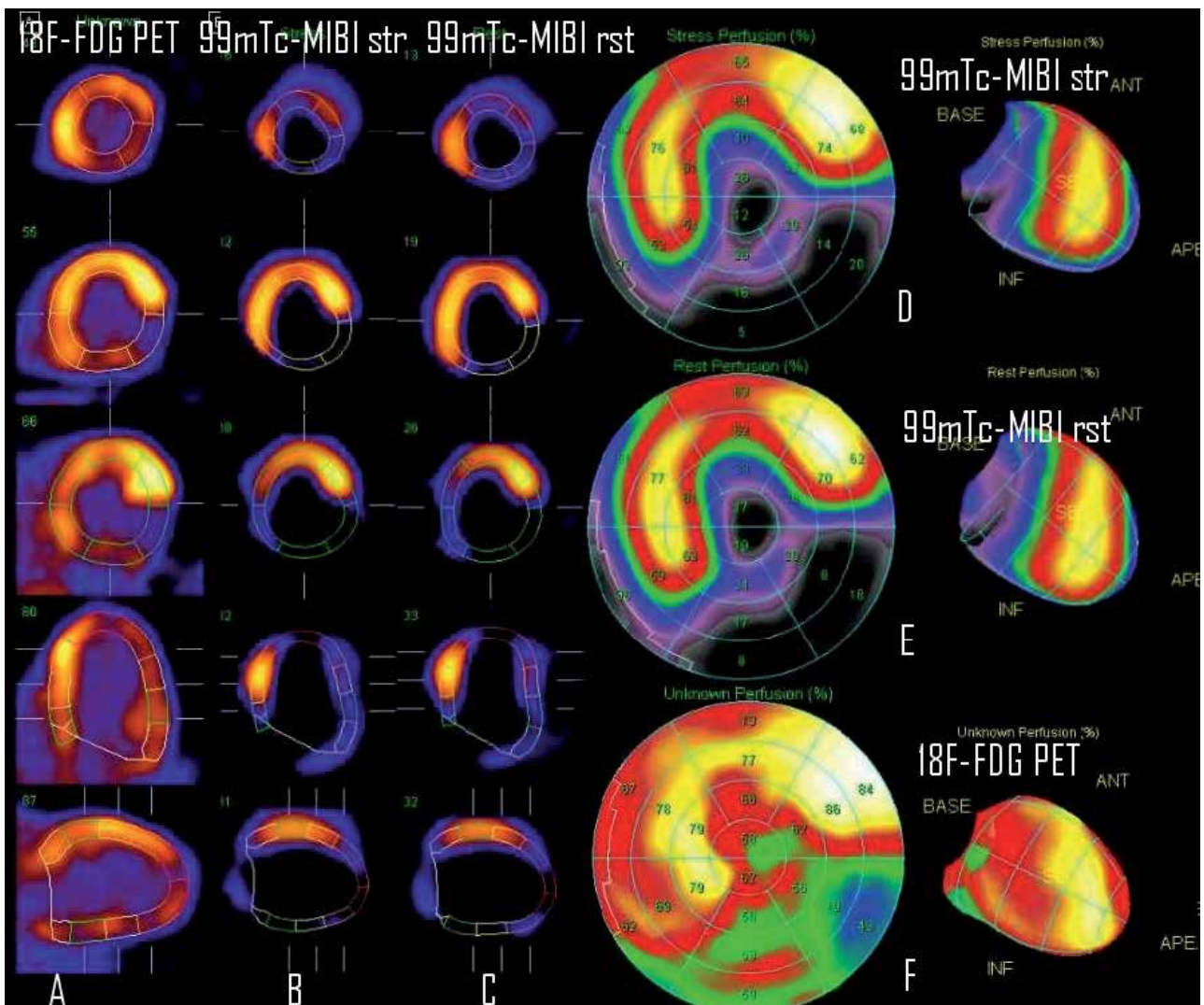


RYCINA 4

Zachowana żywotność mięśnia sercowego. Uwidoczniono zużycie glukozy w obrębie obszarów braku perfuzji. Obraz odpowiada hibernacji mięśnia. **Badanie PET** po podaniu 250 MBq ^{18}F -FDG. **A.** Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego. **D.** Rekonstrukcja „polar map” do oceny półłościowej. Uwidoczniono wychwyty ^{18}F -FDG w ścianie bocznej, dolno-bocznej oraz segmencie przy podstawnym i środkowym ścianie dolnej. Brak utylizacji glukozy w segmencie przykoniuszkowym ściany dolnej, w ścianie przedniej i przegrodzie oraz w koniuszku. **Scyntygrafia perfuzyjna serca techniką SPECT** badanie wykonano po podaniu 600 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI. Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego po podaniu dipirydamolu (**B**) i w spoczynku (**C**) oraz rekonstrukcja „polar map” do oceny półłościowej po podaniu dipirydamolu (**E**) i w spoczynku (**F**). Uwidoczniono trwały ubytek perfuzji obejmujący segmenty środkowe i przypodstawne ściany dolnej i dolno-bocznej, co odpowiada bliźnie pozawałowej.

w diagnostyce PET stosowane są urządzenia, w których w trakcie jednego badania wykonywana jest rejestracja obrazu PET i TK. Taka rejestracja umożliwia wykonanie fuzji obrazów: anatomicznego TK i funkcjonalnego PET. Dodatkowo, możliwe jest również wykonanie badania nieinwazyjnej koronarografii z podaniem kontrastu jodowego do tętnic wieńcowych, co pozwala na strukturalną ocenę zwężeń. Badanie PET-TK znajduje zastosowanie w wielu sytuacjach klinicznych, uznanych przez ACC/AHA [3]. Badanie perfuzyjne PET wykonywane jest u osób powyżej 65 roku życia lub z BMI powyżej 40 kg/m^2 w celu potwierdzenia lub wykluczenia wieńcowego charakteru bólów w klatce piersiowej we wstępnej diagnostyce choroby, a także do oceny charakteru atypowych,

nawracających bólów w klatce piersiowej u osób z rozpoznaną chorobą wieńcową, jak również do oceny regionalnego przepływu krwi u osób z chorobą wielonaczyniową oraz do identyfikacji zwężenia istotnego klinicznie przed planowaną rewaskularyzacją oraz w celu oceny perfuzji u pacjentów bez objawów choroby wieńcowej z grupy wysokiego ryzyka. U osób poniżej 65 roku życia lub BMI poniżej 40 kg/m^2 wg kryteriów ACC/AHA badanie wykonać można w celu weryfikacji niejednoznacznego wyniku badania perfuzyjnego SPECT lub wysiłkowego badania echokardiograficznego wykonanych w ciągu ostatnich dwóch miesięcy. Badanie metaboliczne PET wykonywane jest natomiast do oceny żywotności mięśnia, gdy spełnione są wszystkie poniższe kryteria: pacjent ma po-



RYCINA 5

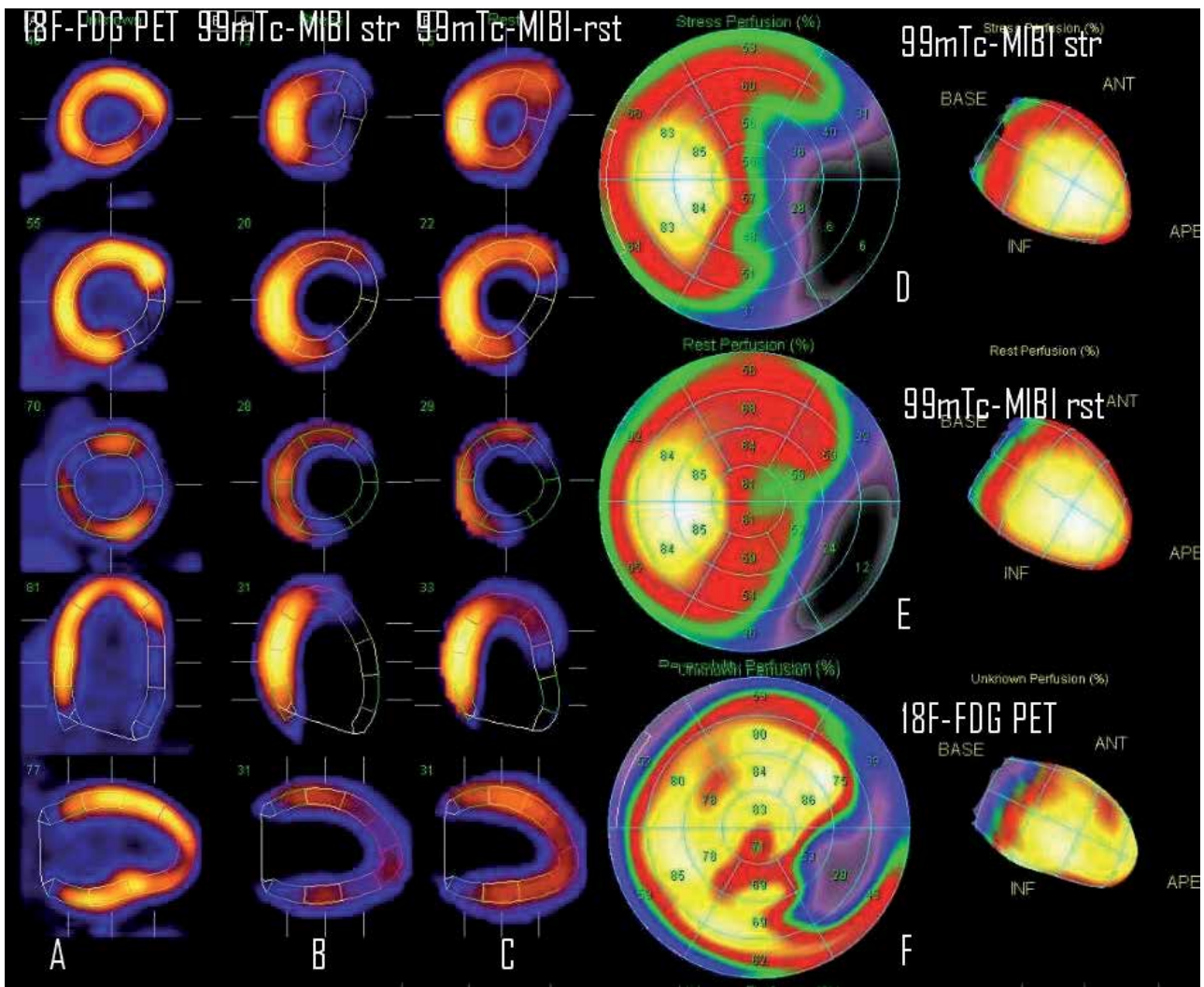
Zachowana żywotność i martwica mięśnia sercowego. Uwidoczniono zużycie glukozy w obrębie ściany dolnej oraz brak zużycia glukozy w obrębie obszaru braku perfuzji w ścianie bocznej. **Badanie PET** po podaniu 250 MBq ^{18}F -FDG. **A.** Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego. **D.** Rekonstrukcja „polar map” do oceny półilościowej. Uwidoczniono wychwyty ^{18}F -FDG w ścianie przedniej i przegrodzie oraz częściowo w ścianie dolnej. Brak utylizacji glukozy w koniuszku, ścianie bocznej i częściowo w dolnej. **Scyntygrafia perfuzyjna serca techniką SPECT** – badanie wykonano po podaniu 600 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI. Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego po podaniu dipirydamolu (**B**) i w spoczynku (**C**) oraz rekonstrukcja „polar map” do oceny półilościowej po podaniu dipirydamolu (**E**) i w spoczynku (**F**). Uwidoczniono trwałe ubytki perfuzji obejmujące ścianę dolną i boczna, co odpowiada bliżniej pozawąłowej.

twierdzoną chorobę wieńcową, stwierdzono upośledzenie funkcji skurczowej mięśnia sercowego, status żywotności mięśnia nie został wyjaśniony na podstawie innych badań oraz rozważana jest rewaskularyzacja [3]. Powołując się na wytyczne ACC (1995 r.), czułość PET w diagnostyce choroby niedokrwiennej wynosi 87-97%, a swoistość 78-100%.

W Polsce badanie kardiologiczne PET jest refundowane przez Narodowy Fundusz Zdrowia, który na podstawie ustawy z dn. 27 sierpnia 2004 r. o świadczeniach finansowanych ze środków publicznych akceptuje refundację kosztów badania PET serca w dwóch sytuacjach klinicznych. Pierwszym refundowanym wskazaniem jest choroba wieńcowa, gdy celem badania jest ocena zamrożonego mięśnia sercowego, która ma służyć precyzyjnemu ustaleniu wskazań lub przeciwwskazań do rewa-

skularyzacji. Drugim wskazaniem jest ocena serca przed planowaną transplantacją, aby wykluczyć nieodwracalne uszkodzenie w wyniku procesu zapalnego.

Wykonanie zarówno badania PET, SPECT, jak i TK wiąże się z działaniem promieniowania jonizującego na tkanki organizmu na poziomie akceptowalnym do zastosowań medycznych: dawka pochłonięta podczas badania PET wynosi 5-7 mSv, natomiast w badaniu angio TK wynosi około 12-14 mSv [4]. Unikalna możliwość oceny ilościowej metabolizmu i przepływu krwi przez mięsień sercowy wraz z oceną morfologiczną naczyń wieńcowych, jaką daje badanie PET-TK, stanowi jednak istotny przełom w diagnostyce kardiologicznej. Bazując na ostatnich doniesieniach, stwierdzić można, że wynik badania PET-TK zmienia wyjściowo planowaną strategię leczenia (zachowawczą lub in-



RYCINA 6

Martwica mięśnia sercowego. Brak zużycia glukozy w obrębie obszarów braku perfuzji w rzucie ściany bocznej i dolno-bocznej. **Badanie PET** po podaniu 250 MBq ^{18}F -FDG. **A.** Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego. **D.** Rekonstrukcja „polar map” do oceny półilościowej. Uwidoczniono wychwyty ^{18}F -FDG w ścianie przedniej i przegrodzie oraz ścianie dolnej. Brak utylizacji glukozy koniuszku, ścianie dolno-bocznej i bocznej. **Scyntygrafia perfuzyjna serca techniką SPECT** badanie wykonano po podaniu 600 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI. Przekrój poprzeczny i przekroje podłużne przez lewą komorę mięśnia sercowego po podaniu dipirydamolu (**B**) i w spoczynku (**C**) oraz rekonstrukcja „polar map” do oceny półilościowej po podaniu dipirydamolu (**E**) i w spoczynku (**F**). Uwidoczniono trwały ubytek perfuzji obejmujący ścianę dolno-boczną i boczną oraz odwracalny ubytek w rzucie ściany przedniej.

wazyjną) w ponad 50% przypadków [5]. Śmiertelność chorych z zachowaną żywotnością serca w grupie leczonej zachowawczo wynosi 16%, a w grupie leczonej interwencyjnie spada do 3,2%. To sprawia, że poziom napromieniowania jest z klinicznego punktu widzenia akceptowalny.

Piśmiennictwo:

- Schelbert HR, Prior JO: Clinical applications of positron emission tomography in cardiology. In: Eli PJ, Gambhir SS: Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment. 2004 Churchill Livingstone. Vol 2: 999-1211.
- Gerber BL, Ordoubadi FF, Wijns W, et al.: Positron Emission tomography using ^{18}F -Fluoro-deoxyglucose and euglycaemic hyperinsulinaemic glucose clamp: optimal criteria for the prediction of recovery of post-ischaemic left ventricular dysfunction. results from the European Community Concerted Action Multicenter Study on use of ^{18}F Fluoro-deoxyglucose positron emission tomography for the detection of myocardial viability. Eur Heart J 2001, 22: 1691-1701.
- Klocke FJ, Baird MG, Gateman TM, et al.: ACC/AHA/ASNC guidelines for clinical use of cardiac radionuclide imaging: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Radionuclide Imaging). 2003 American College of Cardiology Web site. Available at: http://www.acc.org/clinical/guidelines/radio/rni_fulltext.pdf.
- Zanzonico P, Rothenberg LN, Strauss HW: Radiation Exposure of Computed Tomography and Direct Intracoronary Angiography: Risk Has its Reward. J Am Coll Cardiol 2006, 9 (47): 1846-1849.
- Beanlands RS, deKemp RA, Smith S, Johannes H, Ruddy TD: F-18-fluorodeoxyglucose PET imaging alters clinical decision making in patients with impaired ventricular function. Am J Cardiol 1997, 79: 1092-1095.