

Defibrylacja i kardiowersja

Bohdan M. Minczak

Defibrylacja to awaryjna procedura wykonywana w celu przerywania migotania komór. Procedura ta jest także przydatna w leczeniu częstoskurczu komorowego bez tętna. Migotanie komór i częstoskurcz komorowy bez tętna zaliczają się do potencjalnie śmiertelnych dysrytmii¹⁻³ wymagających natychmiastowej oceny i leczenia.

Podczas migotania komór lub częstoskurczu komorowego bez tętna wzrasta pobudliwość miocytów komór. Mnogie ogniska zlokalizowane w ścianach i w przegrodzie serca zaczynają wytwarzać przypadkowe, chaotyczne wyładowania elektryczne (ryc. 12-1). W wyniku tego liczne komórki serca wchodzą w różne stadia depolaryzacji i repolaryzacji. Aktywność ta zaburza prawidłową sekwencję depolaryzacji i repolaryzacji mięśnia sercowego. Rytmiczna, sekwencyjna przedsionkowo-komorowa depolaryzacja mięśnia sercowego, która powstaje w węzle zatokowo-przedsionkowym – tzw. rozruszniku serca, ulega zniekształceniu przez zdeorganizowaną aktywność elektryczną komór. Powierzchniowe fale elektrokardiograficzne ulegają zniekształceniu w porównaniu z falą normalnego elektrycznego rytmu serca (PQRST) na monitorze pracy serca i zmieniają się w chaotyczną linię, pełną „zawijasów” (ryc. 12-2) o zmiennej amplitudzie, częstości i polaryzacji. Następnie mechaniczna aktywność komór ulega dezorganizacji i komory zaczynają kurczyć się przypadkowo lub „drgać”, produkując wiele miejscowych, zdeorganizowanych słabych skurczów. Sprawia to, że serce staje się niezdolne do efektywnego wyrzutu krwi do krążenia obwodowego. Dlatego ofiara traci przytomność, tętno zanika i pojawia się bezdech. Stan ten charakteryzuje nagłe zatrzymanie krążenia. Niezastosowanie odpowiedniej terapii w pierwszych chwilach po wystąpieniu migotania komór/częstoskurczu komorowego/nagłego zatrzymania krążenia utrudnia ich leczenie⁴. W przypadku niepodjęcia defibrylacji i nieprzerwania migotania komór/częstoskurczu komorowego/nagłego zatrzymania krążenia w ciągu kilku minut od wystąpienia tych stanów ($\leq 4-5$ min)², u pacjenta prawdopodobnie wystąpią problemy neurologicznie, znacznie wzrasta też zagrożenie zgonem.

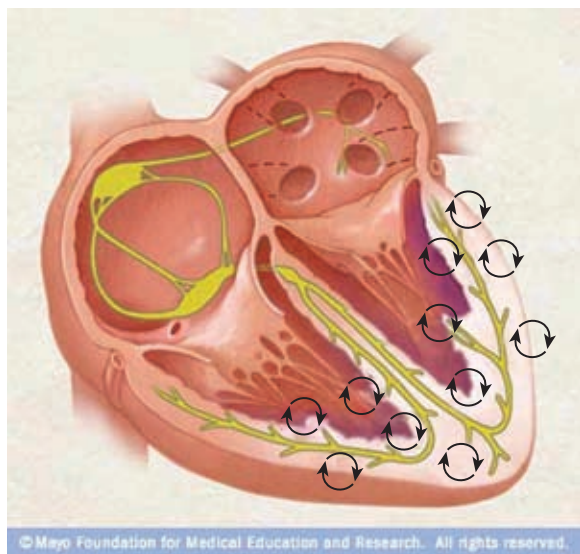
Nagłe zatrzymanie krążenia to główna przyczyna zgonów w USA. Według ostrożnych szacunków powoduje ponad 330 000 zgonów rocznie³. Nagłe zatrzymanie krążenia może wystąpić zawsze i wszędzie. Wiele zgonów zdarza się poza szpitalem oraz przed przyjęciem do szpitala, jednak znaczna liczba epizodów nagłego zatrzymania krążenia występuje w szpitalach: na SOR, oddziałach intensywnej terapii, na oddziałach zachowawczych oraz ambulatoryjnych. W większości przypadków jako rytm zasadniczy rozpoznaje się migotanie komór. Chociaż większość epizodów nagłego zatrzymania krążenia występuje u osób dorosłych, bywają także spotykane w populacji pediatrycznej w wyniku niedotlenienia, urazów i innych przy-

czyn omówionych poniżej. Nagłemu zatrzymaniu krążenia towarzyszy kilka rytmów: częstoskurcz komorowy bez tętna, migotanie komór, aktywność elektryczna bez tętna i asystolia. W tym rozdziale omówiono leczenie migotania komór i częstoskurczu komorowego bez tętna.

Nagłe zatrzymanie krążenia/migotanie komór/częstoskurcz komorowy u osób dorosłych może mieć wiele przyczyn, do których zaliczają się przyczyny niezależne od zawału mięśnia sercowego, niedokrwienie mięśnia sercowego, zawał mięśnia sercowego, niezdiagnozowana miażdżyca tętnic oraz urazy elektryczne. Migotanie komór mogą wywołać pewne grupy leków, np. trójpierścieniowe leki przeciwdepresyjne, naparstnica, chinidyna oraz inne leki proarytmiczne wywołujące przedłużenie odcinka Q-T i zmiany czasu refrakcji cyklu serca. Ponadto wystąpieniu migotania komór sprzyjają urazy klatki piersiowej, hipotermia, choroba mięśnia sercowego, znaczna hiperkaliemia lub hipokaliemia, hipokalcemia, hiperkalcemia, zaburzenia elektrolityczne, a także różne toksydromy, które mogą indukować warunki sprzyjające powstawaniu migotania komór. Hipoksja to kolejny winowajca, który często wywołuje migotanie komór u osób dorosłych i w populacji pediatrycznej. Wady wrodzone serca i dużych naczyń także wiążą się ze zwiększoną częstością występowania migotania komór u małych dzieci. Dlatego ze względu na wieloraką etiologię migotania komór prawdopodobieństwo napotkania nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór/częstoskurczu komorowego bez tętna jest dość wysokie, zwłaszcza w instytucjach świadczących opiekę medyczną nad krytycznie chorymi pacjentami.

Dobrze udokumentowaną i skuteczną terapię w leczeniu migotania komór stanowi szybka defibrylacja⁶. Zabieg ten polega na dostarczeniu krótkiego „impulsu” prądu leczniczego przez ścianę klatki piersiowej i mięsień sercowy w celu przerywania migotania komór. Defibrylacja jednolicie depolaryzuje masę krytyczną mięśnia sercowego i „paraliżuje” migoczące włókna mięśnia sercowego, sprawiając, że miocyty przez jakiś czas nie reagują na różne chaotyczne bodźce. Natychmiast po zastosowaniu impulsu defibrylacyjnego, cała aktywność elektryczna i mechaniczna ulega „wyzerowaniu”. Gdy miocyty odzyskają pobudliwość, rozrusznik najprawdopodobniej rozpocznie rytmiczną depolaryzację i ponownie zainicjuje nadawanie rytmu czynności serca. Następnie serce wznawia miarową, zorganizowaną, sekwencyjną aktywność elektryczną. Zaraz potem, zależnie od metabolicznego stanu mięśnia sercowego, mechaniczna aktywność pompująca serca zaczyna powracać do poziomów wyjściowych, powoli wznawiając dopływ krwi do najważniejszych narządów. W wyniku tego nagłe zatrzymanie krążenia ustępuje i mamy do czynienia ze stopniowym powrotem samoistnego krążenia.

W ciągu ostatnich dziesięciu lat postępy w nauce oraz ich praktyczne wykorzystanie przyczyniły się do znaczącej poprawy przeżywalności pacjentów po nagłym zatrzymaniu krążenia. Zmodyfikowano konstrukcję defibrylatorów, by zwiększyć skuteczność pierwszego wyładowania. Zdaniem producentów, najnowsze defibrylatory dwufazowe charakteryzują się skutecznością pierwszego wyładowania powyżej 90%⁷. Kształty fal wytwarzanych przez defibrylator zmodyfikowano w taki sposób, by ich konfiguracja osiągnęła pożądaną cel, przekazując do mięśnia sercowego możliwie najmniejszą ilość energii. Tendencja ta przypuszczalnie doprowadzi do zmniejszenia częstości występowania



Ryc. 12-1 Migotanie komór serca.

nia uszkodzeń mięśnia sercowego w następstwie przepływu prądu, jak również dysrytmii bez perfuzji, takich jak aktywność elektryczna bez tętna i asystolia po wyładowaniu.

Analiza charakterystyki migotania komór dostarcza informacji na temat cech charakterystycznych mogących posłużyć za wskaźniki czasu trwania defibrylacji. Obecnie dostępne dane wskazują, że migotanie komór składa się z wielu faz oraz że defibrylacja jest najskuteczniejsza w początkowym stadium migotania⁸. Jeżeli migotanie komór utrzymuje się przez kilka minut, jego metaboliczne produkty uboczne mogą odkładać się w tkankach mięśnia sercowego, co utrudnia skuteczną defibrylację. Ponadto część z tych metabolitów może zakłócać kurczliwość serca tuż po wyładowaniu. Dlatego wprowadzono modyfikacje priorytetów i kolejności interwencji podczas resuscytacji w przypadku nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór/częstoskurczu komorowego bez tętna (tzn. najpierw resuscytacja krążeniowo-oddechowa lub najpierw defibrylacja i resuscytacja natychmiast po impulsie), by zwiększyć prawdopodobieństwo pomyślnego przerwania migotania komór oraz przeżywalność po nagłym zatrzymaniu krążenia⁹.

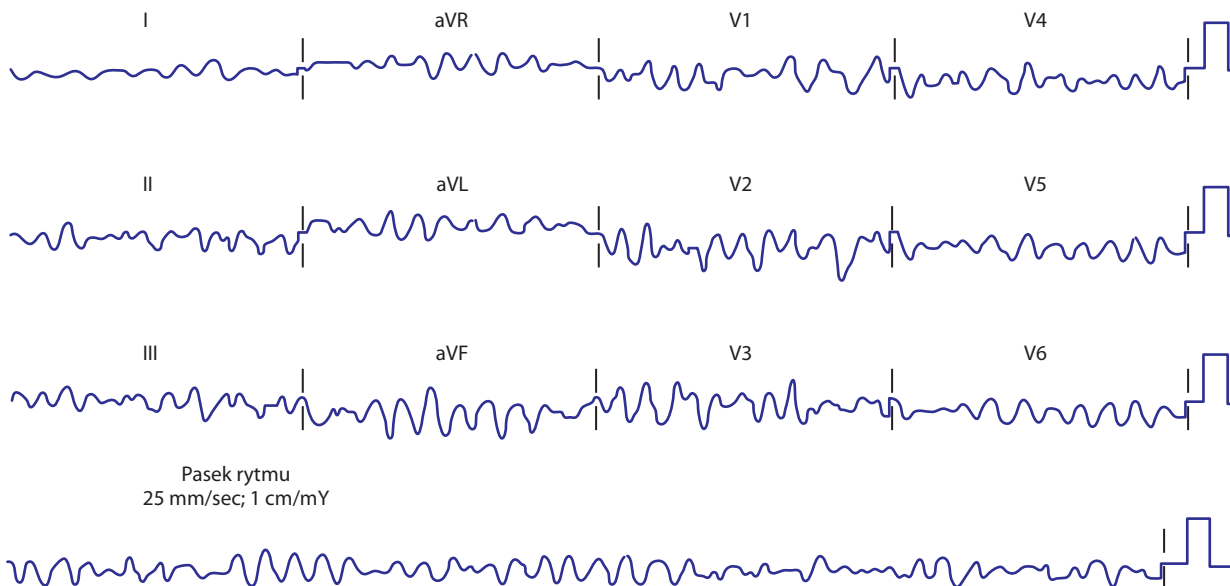
Do dalszego rozwoju defibrylacji jako techniki w medycynie ratunkowej przyczyniły się niedawne postępy w konstrukcji urządzeń elektronicznych i w oprogramowaniu. Produkowane dzisiaj defibrylatory są mniejsze, lżejsze i łatwiej je przenosić. Zastosowanie mikroukładów komputerowych i zaawansowanego oprogramowania wzbogaciło funkcje tych urządzeń o rozpoznawanie skomplikowanych rytmów. Wiele instytucji świadczących przedszpitalne usługi medyczne, straż pożarna, policja, a także osoby postronne, które jako pierwsze znalazły się na miejscu wypadku w miejscu publicznym po odbyciu specjalnego przeszkolenia, mogą przeprowadzać resuscytację i wczesną defibrylację u ofiar nagłego zatrzymania krążenia. Dlatego w wielu sytuacjach czas do wykonania pierwszego wyładowania uległ znacznemu skróceniu. Jednak mimo to dane statystyczne na temat przeżywalności po nagłym zatrzymaniu krążenia/częstoskurczu komorowym bez tętna/migotaniu i pomyślnej defibrylacji nie osiągnęły oczekiwanych poziomów¹⁰. Przegląd danych z dzie-

dziny opieki przedszpitalnej sugeruje, że powrót do podstaw (np. dobra, skuteczna resuscytacja krążeniowo-oddechowa) może być ważną interwencją terapeutyczną zwiększającą skuteczność defibrylacji. Przypuszczenie to wysunięto na podstawie pewnego spostrzeżenia, mianowicie gdy personel ratunkowy odpowiadał na wezwania do przypadków nagłego zatrzymania krążenia, a czas reakcji przekraczał 4–5 minut, ofiary poddawane kilkuninutowej (± 2 min) resuscytacji krążeniowo-oddechowej przed pierwszą defibrylacją charakteryzowały się wyższym wskaźnikiem skutecznej resuscytacji początkowej w porównaniu z ofiarami, które poddawano natychmiastowej defibrylacji po przybyciu na SOR bez wcześniejszej resuscytacji. Doprowadziło to do badań wpływu resuscytacji krążeniowo-oddechowej na migotanie komór.

Analizując wpływ resuscytacji krążeniowo-oddechowej na migotanie komór, stwierdzono zwiększoną amplitudę i czas trwania migotania komór. Ponadto zasugerowano, że wykonanie resuscytacji krążeniowo-oddechowej przed defibrylacją długotrwałego migotania komór (> 4 min) zwiększa wskaźnik przerwanych migotań, zapewniając nominalny przepływ krwi przez tętnice wieńcowe po nagłym zatrzymaniu krążenia¹¹. Obecnie uważa się, że ten przepływ krwi może dostarczać miocytom związków ułatwiających defibrylację oraz że związki te mogą przyczynić się do wznowienia prawidłowej elektromechanicznej aktywności komór po defibrylacji. Ponadto zapewne sprzyja usuwaniu z miocytów produktów ubocznych migotania, które mogą osłabiać czynność serca. Dzięki temu łatwiej wykonać skuteczną defibrylację. Stwierdzono także, że resuscytacja krążeniowo-oddechowa natychmiast po defibrylacji ułatwia przejście z nagłego zatrzymania do powrotu samoistnego krążenia poprzez wzmożenie wyrzutu krwi z komór do układu naczyniowego.

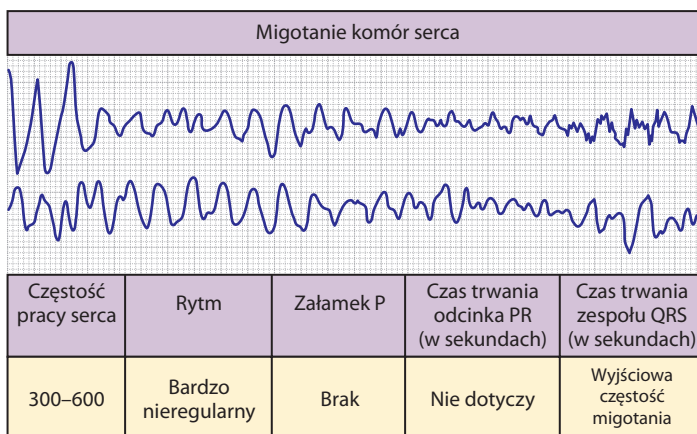
Na podstawie tych spostrzeżeń zmodyfikowano kolejność kroków i priorytety resuscytacji krążeniowo-oddechowej, dążąc do poprawy skuteczności i zmniejszenia opóźnień w wykonywaniu masażu serca. Obecnie kładzie się nacisk na zwiększanie liczby i częstości ucisków klatki piersiowej w celu polepszenia przepływu krwi i podtrzymania przepływu krwi podczas nagłego zatrzymania krążenia oraz natychmiast po defibrylacji. Utrzymywanie drożności dróg oddechowych oraz zastosowanie leków przeanalizowano na nowo oraz ponownie określono priorytety.

Dokonano wyczerpującego i szczegółowego przeglądu danych na temat resuscytacji w celu opracowania opartego na dowodach naukowych przewodnika w zakresie praktyki resuscytacji w przypadkach nagłego zatrzymania krążenia. Organizacja American Heart Association uwzględniła te ustalenia w nowych wytycznych i zaleceniach dotyczących resuscytacji w stanach nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór/częstoskurczu komorowego bez tętna¹². Przedstawiono je poniżej. Pierwszą część tego rozdziału poświęcono opisowi procedury defibrylacji podczas migotania komór oraz częstoskurczu komorowego bez tętna. Drugą część przedstawia aktualne zalecenia i wytyczne odnoszące się do leczenia kardiowersją częstoskurczu komorowego oraz innych arytmii nadkomorowych wraz z odpowiednią farmakoterapią, jeżeli ma zastosowanie w konkretnych sytuacjach. Opisa- no również defibrylację i kardiowersję w populacji pediatrycznej.



A C 00000-0000

F 40 78421



B

Ryc. 12-2 A i B. Migotanie komór.

WSKAZANIA I PRZECIWWSKAZANIA DO WYKONYWANIA DEFIBRYLACJI (ORAZ RESUSCYTACJI KRĄŻENIOWO-ODDECHOWEJ)

Jak wcześniej wspomniano, istnieją przekonujące dowody na to, że szybka defibrylacja elektryczna stanowi najsukuczniejszą terapię ostrego nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór⁶. Rozpoczynając od początku wystąpienia zapaści, współczynnik przeżycia ofiar nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór spada o 7–10% na każdą minutę bez defibrylacji. W przypadku zainicjowania resuscytacji krążeniowo-oddechowej przeżywalność spada wolniej (tzn. 3–4%/min czasu, jaki upłynął od utraty przytomności). W przypadku zauważonego nagłego zatrzymania krążenia i natychmiastowego podjęcia resuscytacji krążeniowo-oddechowej w połączeniu z natychmiastową defibrylacją, przeżywalność po tego rodzaju epizodach wzrasta trzykrotnie²². Dlatego defibrylacja wskazana jest w każdym przypadku, gdy u pacjenta zdiagnozowano migotanie komór lub częstoskurcz komorowy bez tętna. Niekiedy mogą zaistnieć pewne okoliczności związane z epizodem nagłego zatrzymania krążenia, sprawiające, że klinicysta ponownie ocenia kolejność interwencji, jednak

istnieje niewiele bezwzględnych przeciwwskazań do podjęcia wczesnej interwencji poza obecnością tętna, nieobecnością nagłego zatrzymania krążenia, niecelowością wykonywania procedury lub ważną deklaracją „nie reanimować” (*do-not-resuscitate* – DNR). Odpowiednie punkty procedur zilustrowano w szeregu scenariuszy.

Jeżeli pacjent nagle przestaje reagować na bodźce zewnętrzne, zanika tętno i pojawia się bezdech (np. u potencjalnej ofiary nagłego zatrzymania krążenia), należy przyjąć, że rytm zasadniczy serca pacjenta to najprawdopodobniej migotanie komór. Dlatego należy bezzwłocznie podjąć działania przygotowujące do defibrylacji. Po pierwsze, trzeba natychmiast przynieść defibrylator z łyżkami z opcją szybkiego podglądu (*quick-look*) lub automatyczny defibrylator zewnętrzny (AED). Zastosowanie każdego z tych urządzeń umożliwi natychmiastowe monitorowanie i ocenę rytmu serca ofiary. W przypadku jakichkolwiek opóźnień wskazane jest rozpoczęcie resuscytacji krążeniowo-oddechowej. Jeżeli rytm EKG uzyskany dzięki opcji szybkiego podglądu wskazuje na migotanie komór lub częstoskurcz komorowy bez tętna, a AED wskazuje na rytm do defibrylacji, należy szybko wykonać zabieg. Tak więc zauważone nagłe zatrzymanie krążenia/migotanie

komór stanowi wskazanie do podjęcia defibrylacji i resuscytacji krążeniowo-oddechowej. American Heart Association opublikowała poradnik eksponujący znaczenie ciągłego masażu serca w stanach nagłego zatrzymania krążenia. W poradniku zaleca się, by osoby postronne, które nie są pewne swoich umiejętności w zakresie konwencjonalnej resuscytacji krążeniowo-oddechowej, wykonywały tylko ręczną część resuscytacji krążeniowo-oddechowej (tzn. uciskanie klatki piersiowej) aż do przybycia zespołu reanimacyjnego²³.

Jeżeli pacjent nie reaguje na bodźce zewnętrzne, nie ma tętna, nie oddycha i nie wiadomo, jak długi czas upłynął od utraty przytomności, sugeruje się wykonanie starannej resuscytacji krążeniowo-oddechowej podczas przygotowywania do defibrylacji. W trakcie resuscytacji należy rozpocząć przygotowania do analizy rytmu i możliwej defibrylacji, jak wyżej wspomniano. Po trwającej 2 minuty resuscytacji należy przeprowadzić analizę rytmu serca. W przypadku zdiagnozowania migotania komór lub częstoskurczu komorowego bez tętna, należy natychmiast wykonać defibrylację. Dane uzyskane podczas badań resuscytacji w warunkach przedszpitalnych, w których czas, jaki upłynął do wykonania pierwszej defibrylacji uległ przedłużeniu z powodu późniejszego przybycia pomocy, wykazały, że wskaźnik udanych defibrylacji wzrósł, jeżeli osoby postronne obecne na miejscu wypadku wykonywały u ofiary resuscytację krążeniowo-oddechową przed defibrylacją²². Na podstawie naukowej oceny tej informacji stwierdzono, że resuscytację krążeniowo-oddechową może poprawić próg defibrylacji dzięki dostarczaniu miocytom związków ułatwiających powrót prawidłowego sprzężenia pobudzenie-skurcz. Ponadto resuscytację może wymywać związki powodujące depresję mięśnia sercowego, które mogły odłożyć się podczas długotrwałego migotania komór. Stąd prawdopodobieństwo powodzenia pierwszej defibrylacji może wzrosnąć w przypadku wykonania około dwuminutowej resuscytacji krążeniowo-oddechowej (5 cykli ucisków i wentylacji w proporcji 30:2)²². Dlatego w warunkach przedszpitalnych zaleca się wykonanie resuscytacji krążeniowo-oddechowej przed defibrylacją. Danych przemawiających za tą kolejnością działań podczas resuscytacji szpitalnej nie przedstawiono. Kwestia czasu, jaki upłynął od utraty przytomności, chociaż nie stanowi ostatecznego przeciwwskazania do natychmiastowej defibrylacji, może więc stanowić czynnik wpływający na decyzję klinicyisty co do kolejności podjęcia działań resuscytacyjnych. Pozostaje jeszcze pytanie związane z resuscytacją w warunkach szpitalnych, czy najpierw należy defibrylować czy też rozpocząć resuscytację krążeniowo-oddechową przed defibrylacją, gdy nieznaną jest upływ czasu od utraty przytomności. Inne istotne pytania dotyczą czasu trwania resuscytacji krążeniowo-oddechowej przed wykonaniem defibrylacji oraz długości migotania komór przed koniecznością określenia priorytetów resuscytacji krążeniowo-oddechowej względem defibrylacji. Niemniej jednak, jeżeli nie wiadomo, jak długo pacjent pozostaje nieprzytomny, należy rozpocząć resuscytację krążeniowo-oddechową i przygotować się do możliwie najszybszego wykonania defibrylacji. Można rozważyć wykonanie resuscytacji krążeniowo-oddechowej przez krótki czas przed defibrylacją, jeżeli przemawiają za tym względy kliniczne.

Nagle zatrzymanie krążenia z przyczyn urazowych zwykle prowadzi do zgonu²⁴ ze względu na możliwe ura-

zy serca, aorty i tętnic płucnych uniemożliwiające wznowienie normalnej pracy układu sercowo-naczyniowego. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że zasadnicza hipowolemia i uszkodzenia narządowe uniemożliwią skuteczne przeprowadzenie resuscytacji. Jednak nagłe zatrzymanie krążenia z późniejszą utratą świadomości mogło być przyczyną urazu. Dlatego w przypadku stwierdzenia nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór u pacjenta urazowego, należy podjąć próbę resuscytacji krążeniowo-oddechowej i defibrylacji. Jeżeli jednak zakończy się ona niepowodzeniem, należy podjąć próbę określenia przyczyny zasadniczej i rozpocząć odpowiednie leczenie, nie przestając przeciwdziałać skutkom nagłego zatrzymania krążenia. Niemniej jednak uraz nie stanowi przeciwwskazania do wykonania defibrylacji, chociaż wysiłek resuscytacyjny może okazać się daremny.

Jeżeli ofiarą migotania komór/częstoskurczu komorowego bez tętna jest kobieta w ciąży, najważniejsze jest leczenie matki. Dlatego wskazana jest szybka defibrylacja przeprowadzona z wykorzystaniem tych samych wytycznych i kolejności działań co do innych pacjentów²⁵. Nie istnieją doniesienia o urazach ani uszkodzeniach płodu w wyniku defibrylacji. Dlatego ciąża nie stanowi przeciwwskazania do defibrylacji.

Nowe wytyczne sugerują wykonanie tylko jednego wyładowania po zidentyfikowaniu nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór⁶. Po defibrylacji należy natychmiast wznowić resuscytację krążeniowo-oddechową i kontynuować przez ok. 2 minuty lub 5 cykli bez przerw na ocenę rytmu i kontrolę tętna. Dlatego sprawdzanie tętna i rytmu ulega opóźnieniu, a kolejne impulsy nie tylko są niezalecane, lecz wręcz przeciwwskazane. Dodatkowe impulsy mogą wywołać aktywność elektryczną bez tętna lub asystolię. Wznowienie resuscytacji krążeniowo-oddechowej natychmiast po defibrylacji jest wskazane, gdyż wspomaga mechaniczną czynność „porażonego” serca w okresie tuż po defibrylacji. W warunkach szpitalnych krok ten może zmodyfikować klinicysta ze względu na obecność innych okoliczności oraz dostępność urządzeń monitorujących hemodynamikę pacjenta, takich jak aparaty dopplerowskie, linii do pomiaru ciśnienia tętniczego lub do monitorowania ośrodkowego ciśnienia żylnego.

Wcześniejsze zalecenia sugerowały wykonywanie maksymalnie trzech wyładowań „po kolei” bez uciskania klatki piersiowej, jeżeli pierwsze nie przerwało migotania komór. Wykonywano je w celu obniżenia impedancji klatki piersiowej ze względu na stosowane wtedy defibrylatory wytwarzające falę jednofazową o kształcie tłumionej sinusoidy (*monophasic damped sinusoidal* – MDS) (omówione później) oraz w celu dostarczenia większej energii do mięśnia sercowego. Jednak zalecenie to zarzucono ze względu na brak przemawiających za nim dowodów. Obecnie dzięki wyższej skuteczności pierwszej defibrylacji (90%) możliwej do uzyskania za pomocą defibrylatorów dwufazowych – przerywanie migotania komór na 5 sekund – trudniej usprawiedliwić zalecenie powtórzenia wyładowania. Ponadto, jak wyżej wspomniano, po wykonaniu defibrylacji dość często pojawiają się rytmy, takie jak asystolia oraz aktywność elektryczna bez tętna. Rytmy te wymagają podjęcia natychmiastowej resuscytacji krążeniowo-oddechowej. Dlatego wykonywania dodatkowych czy wielokrotnych wyładowań nie zaleca się, są wręcz przeciwwskazane. Zaleca się natomiast natychmiastowe podjęcie resuscytacji krążeniowo-oddechowej.

Defibrylacja to skuteczny sposób przerywania częstoskurczu komorowego bez tętna. Jeżeli jednak u stabilnego pacjenta stwierdza się tętno, a częstoskurczowi komorowemu towarzyszy rytm z perfuzją, defibrylacja jest przeciwwskazana. Jeżeli jednak stan pacjenta z częstoskurczem komorowym bez tętna zmienia się na niestabilny lub pojawiają się oznaki upośledzenia perfuzji, zaburzenia świadomości lub uporczywy ból w klatce piersiowej z obrzękiem płuc, hipotensją i wstrząsem, zaleca się wykonanie *kardiowersji synchronizowanej*. Procedurę tę opisano w dalszej części rozdziału. Jeżeli stan pacjenta zmienia się na niestabilny w wyniku polimorficznego częstoskurczu komorowego lub tętno zanika podczas epizodu częstoskurczu komorowego, wskazane jest wykonanie wyładowania *niesynchronizowanego* (tzn. defibrylacji).

U pacjentów, których znaleziono nieprzytomnych lub którzy właśnie przestali reagować na bodźce zewnętrzne, mogą pojawić się inne rytmy oprócz migotania komór i częstoskurczu komorowego bez tętna (np. aktywność elektryczna bez tętna, asystolia). W przypadku aktywności elektrycznej bez tętna defibrylacja jest przeciwwskazana. Prawdziwe asystolie są **niepodatne** na defibrylację. Co więcej, najnowsze dowody sugerują, że defibrylacja „utajonej” lub rzekomej asystolii nie daje żadnych pozytywnych efektów, a wręcz bywa szkodliwa.

U pacjentów, którzy nie reagują na bodźce zewnętrzne, lecz w których wyczuwa się tętno, powinno się oczywiście określić rytm serca. Jednak u żadnego pacjenta z tętnem – bez względu na to, czy jest ono szybkie czy wolne – **nie należy** wykonywać defibrylacji.

Niektórzy pacjenci, u których wystąpiło nagłe zatrzymanie krążenia, mogą mieć przyklejone do klatki piersiowej różne plastry uwalniające leki (np. nitrogliceryna, hormony antykoncepcyjne, leki obniżające ciśnienie, środki wspomagające odstawienie nikotyny). Obecność tych plastrów nie stanowi przeciwwskazania do wykonania defibrylacji. Jednak położenie elektrod lub łyżek do defibrylacji na klatce piersiowej należy zmodyfikować, by uniknąć kontaktu z nimi. W razie konieczności plastry należy usunąć przed defibrylacją, by uniknąć zmiany kierunku przepływu prądu z pominięciem mięśnia sercowego, powstania łuków elektrycznych, iskier i innych problemów.

Postęp techniczny w dziedzinie konstrukcji defibrylatorów i elektroniki komputerowej zwiększył dostępność automatycznych wszczepialnych defibrylatorów serca (*automatic implantable cardiac defibrillators* – AICD), zwanych potocznie rozrusznikami lub stymulatorami. Najczęściej umieszcza się je w specjalnie do tego celu wytworzonej kieszeni na ścianie klatki piersiowej pacjentów, u których zdiagnozowano chorobę wieńcową. W tej grupie pacjentów występuje skłonność do dysrytmii, epizodów częstoskurczu komorowego i migotania komór, które są automatycznie wykrywane i poddawane defibrylacji lub kardiowersji. Jednak urządzenia te mogą działać niepoprawnie. Jeżeli pacjenci z tymi urządzeniami zgłoszą się na SOR z nagłym zatrzymaniem krążenia/migotaniem komór, należy wykonać defibrylację zgodnie ze wskazaniami. Obecność AICD lub stymulatora **nie stanowi** przeciwwskazania do wykonania defibrylacji. Jedyne zastrzeżenie stanowi konieczność unikania umieszczenia łyżki defibrylatora w okolicy nad AICD lub stymulatorem, ponieważ prąd płynący z defibrylatora może zostać skierowany w bok poza mięsień sercowy i uniemożliwić przerwanie migotania komór. Ponadto przepływ prądu z defibrylatora do AICD

lub rozrusznika może spowodować niewłaściwe działanie tego urządzenia w przyszłości. Po defibrylacji pacjenta, należy skontrolować poprawność działania tych urządzeń.

Obecne tendencje w modzie niekiedy wiążą się z przekłuwaniem ciała w różnych miejscach. Ponadto pewne rodzaje odzieży oraz/lub biżuterii mogą wymagać zmiany miejsca przyłożenia elektrody lub łyżki. Należy unikać obecności metali w okolicy nad sercem lub w klatce piersiowej, by zmniejszyć zagrożenie zmianą kierunku przepływu prądu defibrylującego. Podobnie, jeżeli metalowy przedmiot grozi wywołaniem spięcia lub może ułatwiać kontakt z „uziemiением”, należy go usunąć (jeżeli to wykonalne), by uniknąć zmiany kierunku przepływu prądu, groźby wyładowania łukowego i oparzeń klatki piersiowej. Jednak obecność tych materiałów **nie stanowi** przeciwwskazania do defibrylacji.

W tej części rozdziału na temat defibrylacji zalecenia odnoszą się do dorosłych ofiar nagłego zatrzymania krążenia/migotania komór (wiek > 8 lat lub masa ciała > 25 kg). Jeżeli pacjentem jest dziecko (np. w wieku 1–8 lat o masie ciała < 25 kg), należy uwzględnić konieczne modyfikacje obejmujące kolejność wykonywanych czynności, energię defibrylacji, sprzęt obniżający ilość dostarczonej energii i wielkość łyżek do defibrylacji. Szczegóły dotyczące procedury defibrylacji u dzieci omówiono w dalszej części tego rozdziału. Jeżeli defibrylator, AED oraz sprzęt nadający się do zastosowania u dzieci nie jest dostępny, zespół reanimacyjny może wykorzystać standardowy AED lub defibrylator. Nie ma wskazań ani przeciwwskazań dotyczących zastosowania AED lub defibrylatora u niemowląt w wieku poniżej roku. Dlatego wiek pacjenta nie stanowi przeciwwskazania, lecz należy pamiętać o pewnych modyfikacjach dotyczących procedury resuscytacji.

Jak więc widać, może zająć konieczność wykonania defibrylacji w różnych warunkach. Elektrody lub łyżki defibrylatora mogą wywołać eksplozję w przypadku wyładowania łukowego, a także wywołać błędzące lub zbaczające wyładowania elektryczne. Dlatego należy unikać wykonywania defibrylacji lub zapewnić optymalne przewodnictwo elektryczne przez klatkę piersiową pacjenta podczas defibrylacji w środowisku, w którym znajdują się lotne materiały wybuchowe, jak np. w sali operacyjnej oraz innych pomieszczeniach OIOM. Do materiałów, których należy unikać, zaliczają się środki znieczulające i tlen. Dlatego potencjalnie wybuchowe środowisko stanowi względne przeciwwskazanie do wykonania defibrylacji²⁶.

Podczas wykonywania defibrylacji należy pamiętać o konieczności unikania nadmiernej ilości wilgoci na klatce piersiowej lub w pobliżu pacjenta. Istnieje niewielkie prawdopodobieństwo wystąpienia znaczących lub niebezpiecznych przepływów prądu od pacjenta na mokrą podłogę, jednak należy unikać wszelkich zagrożeń związanych z niekontrolowanym przepływem ładunku elektrycznego. Mokre powierzchnie nie stanowią bezwzględnego przeciwwskazania do defibrylacji. Można ją wykonywać na powierzchniach pokrytych lodem i mokrych chodnikach.

Jeżeli zachodzi wysokie prawdopodobieństwo migotania komór u pacjenta niereagującego na bodźce zewnętrzne na wczesnym etapie nagłego zatrzymania krążenia, defibrylacja „na ślepo” może uratować życie, lecz może także pogorszyć stan rzeczy, zwłaszcza w przypadku nieokreślenia zasadniczego rytmu serca przed wykonaniem zabiegu. Jeżeli u pacjenta rzeczywiście występuje migota-

nie komór, szybka wczesna defibrylacja może naprawdę pomóc. Jeżeli rytm zasadniczy nie poddaje się wyładowaniom (nie do defibrylacji) – jak np. aktywność elektryczna bez tętna lub asystolia – może to utrudnić resuscytację. Przeprowadzenie defibrylacji u pacjenta z aktywnością elektryczną bez tętna może wywołać asystolię. Jeżeli u pacjenta wystąpiła asystolia, prąd elektryczny może uszkodzić mięsień sercowy, co zwiększa zagrożenie opóźnieniem przewodnictwa śródkomorowego. Dlatego defibrylacji na ślepo nie zaleca się²⁷. Jednak dane przemawiające za lub przeciw interwencji w takich sytuacjach są nieliczne.

Na koniec można rozważyć wykonanie defibrylacji „utajonej” (rzekomej) asystolii lub drobnofalistego migotania komór niewykrywalnego z powodu umieszczenia łyżki lub elektrody, lecz nie jest ona zalecana²⁷. Drobnofaliste migotanie komór może niekiedy przybierać postać zatrzymania czynności komór lub asystolii. Przyczyną tego może być prostopadłe ułożenie elektrody względem czoła fali depolaryzacji. Podczas oceny pacjenta, jeżeli występują jakiegokolwiek wątpliwości lub niepewność co do rodzaju rytmu, operator powinien sprawdzić wszystkie przyczyny, w tym obrócić łyżki o 90° względem pierwotnego położenia, by potwierdzić fakt wystąpienia asystolii przed rezygnacją z defibrylacji. W przypadku ujawnienia drobnofalistego migotania komór, przed defibrylacją należy rozważyć wykonanie agresywnej resuscytacji krążeniowo-oddechowej. Regulatory monitora EKG należy ustawić na maksimum, by zapewnić odpowiednie wzmocnienie słabych sygnałów.

SPRZĘT I WYPOSAŻENIE DO DEFIBRYLACJI

Przygotowywanie

Grożące zgonem nagłe zatrzymanie krążenia pojawia się bez ostrzeżenia, a więc wymaga szybkiego przeciwdziałania. By zapewnić stosowną odpowiedź i możliwie szybką interwencję, należy zadbać o dostępność całego wyposażenia przedstawionego w tabeli 12-1 na odpowiednim podajniku, a najlepiej umieścić je na specjalnym wózku (ryc. 12-3) i ułożyć w spodziewanej kolejności zastosowania. Wyposażenie należy stale utrzymywać w stanie gotowości. Tam gdzie to możliwe, defibrylator (ryc. 12-4), przewody łączące, łyżki defibrylatora z opcją szybkiego podglądu (ryc. 12-5), elektrody EKG, defibrylatora oraz podkładki (ryc. 12-6) należy wcześniej podłączyć i opisać w celu ułatwienia wykorzystania, gdy zajdzie potrzeba. Takie rozwiązanie umożliwia swobodny dostęp i szybkie wykorzystanie sprzętu podczas resuscytacji. Członkowie wyznaczonego zespołu reanimacyjnego powinni każdorazowo sprawdzać kompletność i sprawność sprzętu i wyposażenia na początku dyżurów. Do tego celu przydaje się lista kontrolna potrzebnego wyposażenia wraz z rejestrem kontroli zawartości wózka.

Ze względu na różnorodne warunki pracy zespół reanimacyjny może zetknąć się z różnymi rodzajami sprzętu do defibrylacji. Wyniki najnowszych badań biomedycznych wpływające na konstruowanie coraz lepszych i skuteczniejszych defibrylatorów umożliwiających uzyskiwanie lepszych wyników po pierwszym użyciu, konkurencja wśród producentów starających się zwiększyć swój udział w rynku, produkcja bardziej przyjaznych dla użytkownika oraz posiadających więcej funkcji defibrylatorów/monitorów pracy serca doprowadziły do znaczącego wzrostu liczb

TABELA 12-1 Wytyczne w zakresie terapii przeciwwkrzepliwnej u pacjentów z migotaniem przedsionków

Sprzęt i wyposażenie do defibrylacji

- Defibrylator/monitor EKG
- Ręczne elektrody do defibrylacji, łyżki z opcją szybkiego podglądu
- Wielofunkcyjne kable do monitorowania EKG i wykonywania defibrylacji
- Elektrody i podkładki do odbioru sygnału EKG i wykonywania defibrylacji
- Żel przewodzący do EKG (**nie** żel do USG)

Wyposażenie dodatkowe (odnosi się do migotania komór/ częstoskurczu komorowego)*

Leki stosowane do zaawansowanych zabiegów resuscytacyjnych (advanced cardiac life support – ACLS)

- Adrenalina
- Wazopresyna
- Amiodaron
- Lidokaina
- Słarczan magnezu
- Prokainamid
- Atropina

Inne

- Sprzęt do uzyskania dostępu dożylnego, zestawy do zakładania cewników centralnych itp.

* Lista sugerowanego wyposażenia i leków, które powinny znajdować się na wózku.

by odmian, typów i konfiguracji defibrylatorów. Chociaż wszystkie urządzenia stosowane obecnie w warunkach klinicznych wyposażone są w podobne funkcje podstawowe, działają na podobnych zasadach i wszystkie można wykorzystywać do defibrylacji, układ regulatorów i połączeń w poszczególnych modelach może ulegać znaczącym zmianom oraz przyczyniać się do niepotrzebnych opóźnień pierwszej interwencji, gdy zespół zastanawia się, jak użyć konkretnego urządzenia. Rzekome awarie sprzętu często bywają spowodowane niedostatecznym przeszkoleniem operatora, wyborem niewłaściwych opcji, niewłaściwą obsługą regulatorów i połączeń. Ponadto różnice konstrukcyjne między defibrylatorami (co może dotyczyć m.in. kształtu fali – zob. dalej) mogą wpływać na rzeczywistą ilość energii dostarczonej do mięśnia sercowego, powodując jego niepotrzebne uszkodzenie lub dysrytmię bez perfuzji, jeżeli operator nie zna charakterystyki działania sprzętu. Dlatego klinicysta i zespół reanimacyjny powinni dokładnie zapoznać się z modelami oraz z zasadami obsługi urządzeń dostępnych w wyznaczonym obszarze opieki nad pacjentem, **zanim** nadejdzie potrzeba nagłego jego wykorzystania, gdyż wpływa to na możliwości wyboru i decyzje podejmowane podczas resuscytacji.

Uwaga: Im dłużej trwa migotanie komór, tym trudniej przeprowadzić defibrylację.

Defibrylatory

Najważniejszym urządzeniem służącym do przerywania groźnych dla życia rytmów serca jest defibrylator. Aby przybliżyć czytelnikowi funkcje różnych rodzajów defi-



Ryc. 12-3 Wózek ze sprzętem do defibrylacji.



Ryc. 12-5 Łyżki z opcją szybkiego podglądu.



Ryc. 12-6 Wielofunkcyjne elektrody do odczytu EKG i defibrylacji.



Ryc. 12-4 Defibrylator z podłączonymi łyżkami i papierem do zapisu EKG.



Ryc. 12-7 Wielofunkcyjny defibrylator/monitor.

brylatorów, dostępne parametry i tryby pracy, poniżej zawarto omówienie podstawowych elementów tych urządzeń.

Konfiguracje poszczególnych urządzeń mogą się nieco różnić w zależności od producenta (ryc. 12-7 i 12-8, zob. też ryc. 12-4). Większość produkowanych obecnie defibry-

latorów wyposażono w funkcję monitora pracy serca, umożliwiającą pokazywanie sygnału z kilku odprowadzeń EKG (zob. ryc. 12-4 i 12-7). Niektóre urządzenia wyświetlają i drukują zapis EKG 12-odprowadzeniowego (ryc. 12-9). Ponadto wiele defibrylatorów/monitorów wyposażono w funkcje alarmu, mikroukłady komputerowe i oprogramowanie przystosowane do wykrywania pewnych ro-



Ryc. 12-8 Automatyczny defibrylator zewnętrzny.



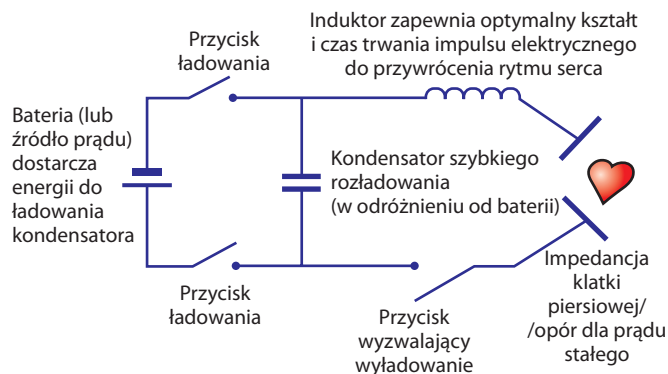
Ryc. 12-9 Defibrylator z funkcją monitora pracy serca umożliwiający prezentację zapisu EKG 12-odprowadzeniowego, przybliżoną interpretację wyników badania, wykonanie kardiowersji, może także pełnić funkcję stymulatora.

dzajów arytmii, a także ostrego zawału mięśnia sercowego. Większość defibrylatorów/monitorów posiada także możliwość wykonywania kardiowersji, może pełnić funkcję zewnętrznego stymulatora, dostarczać danych pulsoksymetrycznych, telemetrycznych i sfigmomanometrycznych. Szczegółowy przegląd różnych opcji i odmian defibrylatorów/monitorów wykracza poza zakres tematyczny tego rozdziału. Dlatego poniższa prezentacja ogranicza się do elementów istotnych dla defibrylacji i kardiowersji.

Podstawowe funkcje i zasady obsługi defibrylatora (podstawowe regulatory, przełączniki i części składowe)

Defibrylacja

Jak wcześniej wspomniano, defibrylacja polega na dostarczeniu krótkiego impulsu elektrycznego do mięśnia sercowego w celu przerwania/zakończenia migotania przedsionków. Do tego celu potrzeba źródła energii elektrycznej i mechanizmu umożliwiającego kontrolowane uwolnienia



Ryc. 12-10 Obwód defibrylator-pacjent.

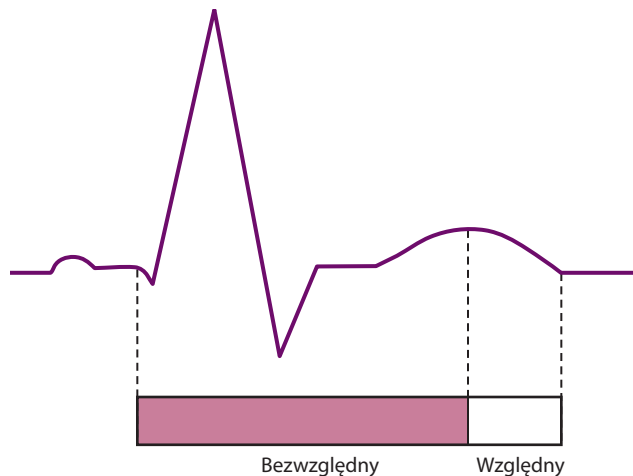
tej energii. Defibrylator jest źródłem energii do defibrylacji lub kardiowersji. Na ryc. 12-10 przedstawiono schemat obwodu typowego defibrylatora. Źródło prądu zmiennego przekazuje energię elektryczną do wewnętrznego transformatora i zasilacza. Transformator i zasilacz zamieniają prąd zmienny na prąd stały i przechowują energię w baterii. Naładowana bateria umożliwia korzystanie z urządzenia po odłączeniu od źródła prądu zmiennego, co sprawia, że można je przenosić. Niektóre modele wyposażono w baterię rezerwową i przełącznik umożliwiający jej wykorzystanie po rozładowaniu baterii głównej. Przed wykonaniem defibrylacji operator ustawia parametry urządzenia, co stanowi pierwszy krok całego ciągu zdarzeń.

Najpierw za pomocą odpowiedniego przełącznika lub tarczy obrotowej operator włącza zasilanie urządzenia. Elektrody (łyżki z opcją szybkiego podglądu lub wielofunkcyjne) należy właściwie ułożyć na ścianie klatki piersiowej pacjenta, który odtąd staje się częścią obwodu defibrylatora.

Po podjęciu decyzji o rozpoczęciu defibrylacji na podstawie oceny elektrokardiogramu operator wybiera poziom energii defibrylacji (w dżulach), decydując o ilości energii uwalnianej podczas wyładowania. Następnie włącza ładowanie, by zainicjować przepływ prądu z baterii do kondensatora, co powoduje jego naładowanie. Naładowany kondensator przechowuje dużą ilość energii w postaci rozdzielonych ładunków. Po naciśnięciu przycisków wyzwalających wyładowanie, podzespoły elektroniczne oraz/lub oprogramowanie wybierają odpowiednią ścieżkę (np. kombinacja oporników, induktorów, kondensatorów, obwodów i przełączników) pozwalającą na uwolnienie terapeutycznej dawki prądu do łyżek lub elektrod podłączonych do pacjenta. Wewnętrzne regulatory określają ilość energii (w woltach/dżulach i amplitudę), czas trwania impulsu (czas przepływu prądu w milisekundach) i biegunowość (prąd jednofazowy lub dwufazowy), czyli kierunek, w którym uwalniany prąd przepływa przez ścianę klatki piersiowej i mięsień sercowy między elektrodami lub łyżkami.

Podstawy kardiowersji

Większość defibrylatorów/monitorów wyposażono także w funkcję wykrywania EKG oraz wbudowane wyświetlacze. Rozwiązanie to pozwala operatorowi na dokonanie analizy rytmu serca pacjenta i podjęcie decyzji, czy ma do czynienia z rytmem poddającym się defibrylacji, czy nie. Moduł EKG jest sprzężony z defibrylatorem w taki sposób, by we właściwym czasie przekazać energię do elektrod lub



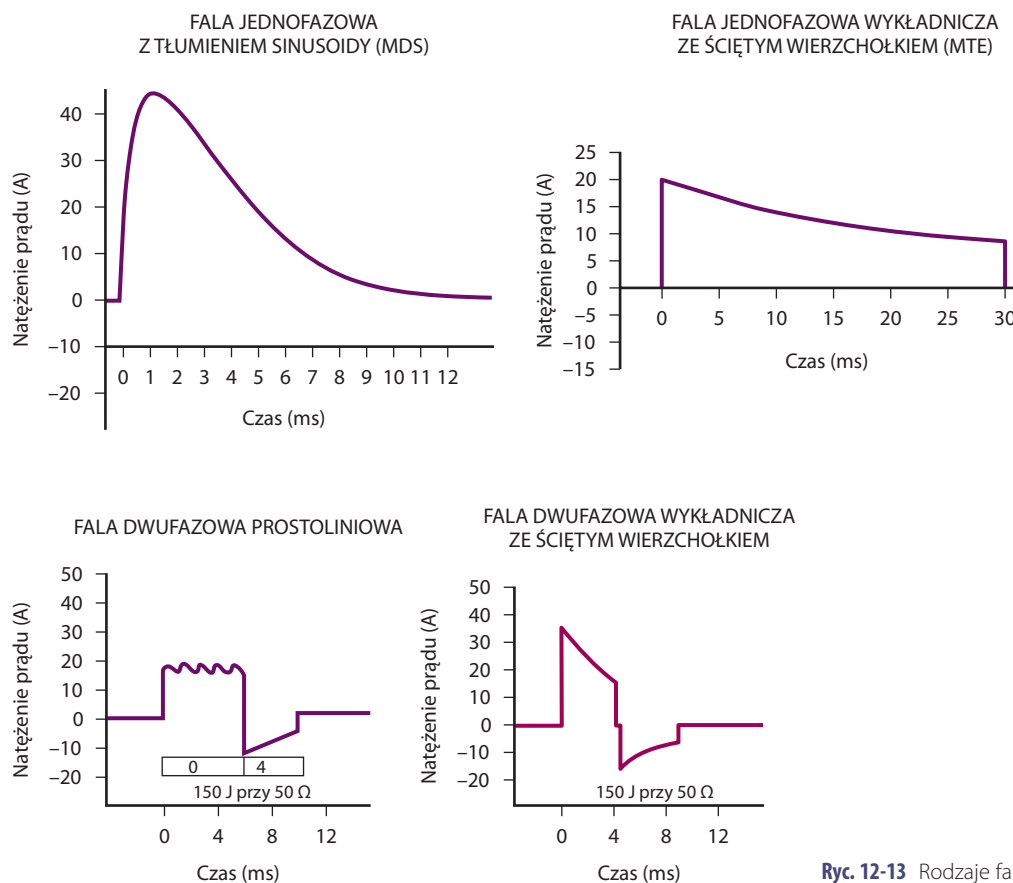
Ryc. 12-11 Czas trwania bezwzględnej refrakcji cyklu serca.

łyżek, jeżeli wyładowanie należy wykonać lub zsynchronizować w czasie z określoną fazą cyklu serca (np. podczas okresu bezwzględnej refrakcji cyklu serca [ryc. 12-11], zob. niżej), jak np. w kardiowersji, za co odpowiadają oprogramowanie i podzespoły elektroniczne. Urządzenie wyposażono w przełącznik umożliwiający wybór trybu pracy kolejnego wyładowania, co pozwala operatorowi włączyć lub odłączyć moduł EKG od obwodu wyjściowego defibrylatora. Gdy operator postanowi wykonać defibrylację, przełącza urządzenie w tryb niesynchronizowany, by uwolnić energię niezależnie od wskazań modułu EKG. Wyładowanie następuje po naciśnięciu przycisków wyzwalających

wyładowanie na łyżkach lub na urządzeniu. W przypadku kardiowersji operator wybiera tryb synchronizowany, włączając moduł EKG do obwodu wyładowania. W tym trybie pracy uwolnienie energii następuje wraz z pojawieniem się załamka R zespołu QRS. Za synchronizację odpowiadają obwody defibrylatora. Procedurę tę omówiono obszerniej w części *Kardiowersja* (zob. dalej).

Rodzaje defibrylatorów

Obecnie używane urządzenia klasyfikuje się w odniesieniu do rodzajów wytwarzanych przez nie fal elektrycznych służących do defibrylacji. Ogólnie biorąc, istnieją dwa rodzaje fal – *jednofazowe* i *dwufazowe*. Można je dalej podzielić ze względu na tempo spadku przepływu prądu do poziomu wyjściowego lub ze względu na rzeczywisty kształt/biegunosć fali: fala jednofazowa z tłumieniem sinusoidy (MDS) (ryc. 12-12 *po lewej*), fala jednofazowa wykładnicza ze ściętym wierzchołkiem (MTE) (zob. ryc. 12-12 *po prawej*), fala dwufazowa wykładnicza ze ściętym wierzchołkiem (BTE) (ryc. 12-13) oraz fala dwufazowa prostoliniowa (zob. ryc. 12-13). Na rycinach w celu porównania przedstawiono kilka rodzajów fal (ryc. 12-14). Choć nie wykazano wyższości żadnego kształtu fali nad innymi pod względem przeżywalności ofiar nagłego zatrzymania krążenia ani powrotu samoistnego krążenia, wykazano, że fala dwufazowa skuteczniej przerywa migotanie komór po pierwszym impulsie niż fala jednofazowa⁷. Należy pamiętać, że ilość energii faktycznie dostarczonej do mięśnia sercowego za pośrednictwem konkretnej fali może różnić się od wybranego poziomu energii. Dlatego zapoznanie się z rodzajami fal wytwarzanymi przez konkretne modele defibrylatorów może być



Ryc. 12-12 Rodzaje fal jednofazowych: *po lewej* fala jednofazowa z tłumieniem sinusoidy (*monophasic damped sinusoidal* – MDS), *po prawej* fala jednofazowa wykładnicza ze ściętym wierzchołkiem (*monophasic truncated exponential* – MTE).

Ryc. 12-13 Rodzaje fal dwufazowych.

KSZTAŁT FALI DO DEFIBRYLACJI ZEWNĘTRZNEJ



Ryc. 12-14 Kształt fali wykorzystywanych do defibrylacji zewnętrznej.

przydatne, gdy znajdzie konieczność dokonania wyboru poziomu energii do defibrylacji. Poniżej zamieszczono krótkie omówienie różnych kształtów fal.

Pod względem wymogów dotyczących obsługi defibrylatory dzielą się także na *ręczne*, *półautomatyczne* i *automatyczne*.

Defibrylatory dwufazowe/Wybór poziomu energii

Obecnie produkuje się przeważnie defibrylatory dwufazowe. Urządzenia te wytwarzają fale dwufazowe – wykładniczą ze ściętym wierzchołkiem (zob. ryc. 12-13) lub prostoliniową (zob. ryc. 12-13) – przepływające między elektrodami tam i z powrotem, przesyłając prąd w jedną, a następnie w drugą stronę. Poniżej zamieszczono krótki opis różnych rodzajów fal i przypisane im znaczenie w terapii. Okazało się, że defibrylatory dwufazowe wytwarzają skuteczniejsze wyładowania o mniejszej energii oraz charakteryzują się wyższym wskaźnikiem powodzenia pierwszej defibrylacji. Chociaż nie określono optymalnego poziomu energii do pierwszej defibrylacji falą dwufazową, który najskuteczniej przerywa migotanie komór, wyniki niektórych badań wykazały, że zastosowanie stosunkowo niskiej energii (200 J) lub mniejszej nie jest szkodliwe i wykazuje porównywalną – jeżeli nie większą skuteczność – jak wyładowanie falą jednofazową o większej energii (360 J)²⁸. Zalecenia opracowane na podstawie wyników tych badań sugerują zastosowanie najniższego zakresu energii, który skutecznie przerywa migotanie komór w przypadku danego typu defibrylatora. Nosi on nazwę *zależnego od urządzenia zakresu skutecznej dawki energii*. Dlatego używając defibrylatora wytwarzającego falę dwufazową prostoliniową do skutecznego przeprowadzenia zabiegu powinien wystarczyć poziom energii rzędu 120 J, natomiast jeżeli defibrylator wytwarza falę dwufazową wykładniczą ze ściętym wierzchołkiem, zaleca się korzystać z zakresów energii 150–200 J. Gdy operator nie zna zależnego od urządzenia zakresu skutecznej dawki, podczas pierwszej defibrylacji zaleca się stosować dawkę 200 J. Obecnie trwają prace nad określeniem najmniejszej ilości energii wystarczającej do przerwania migotania komór w celu minimalizacji uszkodzeń mięśnia sercowego i wywołania możliwie najmniejszych rytmów bez perfuzji po wyładowaniu. Defibrylatory dwufazowe wypierają z użycia starsze urządzenia jednofazowe.

Defibrylatory jednofazowe/Wybór poziomu energii

Chronologicznie rzecz biorąc, urządzenia jednofazowe stanowiły pierwszy rodzaj defibrylatorów. Są nadal dostępne w różnych instytucjach świadczących opiekę medyczną, lecz stopniowo wycofuje się je z produkcji. Szpitale i SOR zastępują je nowszymi modelami dwufazowymi. Defibrylatory te wytwarzają falę jednofazową z tłumieniem sinusoidy (zob. ryc. 12-12). Specjaliści są zdania, że stosując tego rodzaju urządzenia, do pierwszej defibrylacji należy

wybrać energię na poziomie 360 J⁶. Za pomocą tych defibrylatorów można wykonywać udane defibrylacje i uznaje się je za gorsze od dwufazowych.

Kształt fali

Do niedawna nowoczesne defibrylatory wytwarzały falę jednofazową z tłumieniem sinusoidy lub półsinusoidy albo gąsnącą trapezową falę wykładniczą ze ściętym wierzchołkiem (napięcie spadające natychmiast), omówioną obszerniej dalej. Trapezowy kształt fali zmodyfikowano, by bardziej przypominał falę kwadratową, gdyż w warunkach defibrylacji doświadczalnej²⁹ okazał się bardziej skuteczny. W porównaniu wykorzystania fal kwadratowych i fal z tłumieniem półsinusoidy (napięcie stopniowo spada do zera) do defibrylacji u zwierząt, stwierdzono, że w przypadku fali kwadratowej wystarczały mniejsze szczytowe wartości prądu na kilogram masy ciała, chociaż przeciętne przepływy prądu były porównywalne³⁰. Dalsze prace w tej dziedzinie zaowocowały opracowaniem wielu nowych fal dwufazowych. Powstają one dzięki manipulacji wielkością przepływu prądu (natężeniem), amplitudą, czasem trwania, napięciem i ostatecznie poziomem energii dostarczonej do mięśnia sercowego.

Ze względu na aktualne badania przydatności fal o różnym kształcie wytwarzanych przez nowoczesne defibrylatory, nie od rzeczy wydaje się krótki wstęp terminologiczny. Prąd wytwarzany przez defibrylator ma postać wykresu względem czasu na kartezjańskim układzie współrzędnych (osie x i y). Fala może mieć postać jednofazową lub dwufazową. Charakterystyczną falą jednofazową opisuje się jako szybki jednokierunkowy wzrost dodatniego przepływu prądu do z góry zadanej wartości szczytowej, a następnie powrót poziomu wyjściowego. Jeżeli natomiast powrót prądu do poziomu wyjściowego przebiega stopniowo, falę określa się mianem *tłumionej* (np. fala MDS). Fale te często przypominają kształtem sinusoidę (zob. ryc. 12-12). Gdy powrót do poziomu wyjściowego przebiega nagle, fala ma kształt MTE (zob. ryc. 12-12). Gwałtowny wzrost przepływu prądu względem czasu z krótkotrwałą fazą plateau, po której następuje gwałtowne lub nagłe odwrócenie przepływu prądu w zadanym z góry czasie aż do przekazania całej energii, a następnie powrót do poziomu wyjściowego, nosi nazwę fali dwufazowej ze względu na obecność dwóch faz – dodatniej i ujemnej – w płynącym prądzie. Zasadniczo fala dwufazowa powstaje, gdy prąd przepływa od pierwszej łyżki do drugiej, a następnie po odwróceniu kierunku – od drugiej łyżki do pierwszej. Jeżeli zmiana biegunowości lub kierunku przepływu prądu przebiega stopniowo, fala nosi nazwę *tłumionej*. Jeżeli odwrócenie kierunku przepływu prądu przebiega nagle, falę nazywa się *wykładniczą ze ściętym wierzchołkiem*, stąd nazwa *wykładnicza fala dwufazowa ze ściętym wierzchołkiem* (zob. ryc. 12-13).

Najwyższy osiągnięty przepływ prądu nosi nazwę prądu szczytowego. Jednak wielkość ta nie jest równoznaczna z łączną ilością dostarczonej energii, gdyż dopływa ona do serca przez cały czas trwania lub okres fali. Obecnie uważa się, że im mniejszy prąd szczytowy i mniejsza ilość energii dostarczona do miocytów znajdujących się w stanie migotania, tym mniejsze uszkodzenia tkanek mięśnia sercowego, a także mniejsze prawdopodobieństwo utrwalenia warunków sprzyjających migotaniu komór. Sugeruje to, że omawiane kształty fali zwiększają skuteczność defibrylacji, ograniczają uszkodzenia mięśnia sercowego oraz częstość występowania arytmii po defibrylacji^{31,32}.

Pierwszy dwufazowy automatyczny defibrylator zewnętrzny zatwierdzony do użytku przez amerykański Federalny Urząd ds. Żywności i Leków (Food and Drug Administration) wytwarzał falę typu BTE³³. Trwają badania różnych fal dwufazowych prostoliniowych stosowanych do pierwszej defibrylacji, mające na celu znalezienie optymalnego ich kształtu, który dostarczy do mięśnia sercowego możliwie najmniejszą ilość energii, co ograniczy strukturalne uszkodzenia miocytów³⁴, jednocześnie umożliwiając przeprowadzenie udanych defibrylacji^{24,33,36}. Wielkość urazów tkanek mięśnia sercowego wiąże się ze szczytowym przepływem prądu, a nie z ilością energii faktycznie dostarczonej do miocytów³⁷. W przypadku defibrylatorów dwufazowych można korzystać z niższych poziomów energii (150–175 J) bez zwiększania ich do 300–360 J. Wyniki badań doświadczalnych sugerują, że wyniki kliniczne tego rodzaju defibrylacji są porównywalne z defibrylacjami z pomocą impulsów jednofazowych o rosnącej energii³⁸. Jednak rzeczywista wartość dostarczonej energii zależy od oporności klatki piersiowej. Obecnie produkowane defibrylatory mogą określać wartość tego parametru i modyfikować kształt fali, a więc także ilość energii dostarczonej do mięśnia sercowego. Oporność klatki piersiowej omówiono obszerniej w dalszej części rozdziału. W praktyce klinicznej aktualnie dostępne fale różnią się nieznacznie pod względem skuteczności klinicznej. Znosi się na to, że w przyszłości będą dominować defibrylatory dwufazowe z kompensacją oporności. Obecnie defibrylatory jednofazowe są nadal stosowane w niektórych instytucjach. Na razie nie ma dowodów przemawiających za przewagą jednej czy drugiej fali defibrylującej nad innymi.

Defibrylatory ręczne

Na wielu oddziałach klinicznych najczęściej spotyka się ręczne defibrylatory/monitory pracy serca. Jednak niektóre spośród ostatnio produkowanych defibrylatorów ręcznych wyposażono w funkcję rozpoznawania rytmu serca i można je przełączyć w tryb pracy AED jednym przyciskiem. Opcja ta przydaje się zwłaszcza w przypadku nieobecności wykwalifikowanego członka zespołu reanimacyjnego, który mógłby zinterpretować rytm serca na oddziale zachowawczym szpitala. Ułatwia to wykonywanie defibrylacji u różnych pacjentów bez obecności klinicysty.

Ręczne defibrylatory wymagają od operatora włączenia zasilania, wyboru wejścia (np. łyżki z opcją szybkiego podglądu lub elektrody do EKG), umieszczenia łyżek, wielofunkcyjnych łyżek EKG lub elektrod do defibrylacji na klatce piersiowej pacjenta i określenia rytmu serca (np. migotanie komór, częstoskurcz komorowy bez tętna). Następnie operator wybiera odpowiedni poziom energii dla

konkretnego pacjenta na podstawie dostępnego typu defibrylatora (jednofazowy lub dwufazowy), uaktywnia ładowanie kondensatora i wykonuje defibrylację, naciskając odpowiednie przyciski. Przed wykonaniem kardiowersji operator także wykonuje kroki według powyższego opisu, jednak ten rodzaj wyładowania wymaga wyboru trybu synchronizowanego (SYNC). Ręczne defibrylatory wymagają więc ustawienia kilku parametrów – wejścia, poziomu energii, rozpoczęcia ładowania – i sprawdzenia położenia przełącznika trybu, a następnie podania impulsu poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku.

Defibrylatory półautomatyczne

Defibrylatory półautomatyczne lub automatyczne AED wymagają od operatora włączenia zasilania i wykonywania poleceń głosowych lub podpowiedzi wizualnych generowanych przez urządzenie (np. „przymocować elektrody do nagej klatki piersiowej pacjenta”, „naciśnąć przycisk analizy” na defibrylatorze, by rozpocząć analizę rytmu, a następnie „naciśnąć przycisk wyzwalający wyładowanie” lub „zainicjować resuscytację krążeniowo-oddechową”). AED wymaga mniejszej liczby kroków i decyzji operatora. Po włączeniu urządzenia operator ma za zadanie odpowiednio umieścić elektrody na klatce piersiowej pacjenta, a urządzenie dokona samoczynnej analizy zasadniczego rytmu serca (niekiedy operator musi nacisnąć odpowiedni przycisk). Następnie AED sprawdza, czy wykryty rytm poddaje się defibrylacji. Jeżeli tak, urządzenie podpowie operatorowi, by „przygotował” pacjenta do defibrylacji, a następnie poinstruuje go, by nacisnął przycisk wyzwalający wyładowanie. Analizę rytmu i wybór poziomu energii przeprowadzają wstępnie zaprogramowane elektroniczne podzespoły urządzenia. Innymi słowy, wystarczy, że operator naciśnie przełącznik analizatora (jeżeli konkretny model AED tego wymaga), a następnie przycisk wyzwalający wyładowanie, gdy istnieje wskazanie do wykonania defibrylacji (tzn. urządzenie wykryło rytm do defibrylacji). Niektóre spośród tych urządzeń posiadają opcję przejścia na sterowanie ręczne (przycisk „override”), pozwalając klinicyście lub innemu dostawcy usług medycznych na zmianę kolejności działań, wybór innych poziomów energii itd. (Szczegóły techniczne zależą od modelu urządzenia i znajdują się w instrukcji obsługi).

Defibrylatory automatyczne

Defibrylatory automatyczne wymagają od operatora włączenia urządzenia i ułożenia elektrod na klatce piersiowej pacjenta. Urządzenie automatycznie analizuje rytm serca i generuje wyładowanie (jeżeli wymaga tego wynik analizy) bez żadnej ingerencji operatora, wyłącznie na podstawie oprogramowania. W tego rodzaju sprzęt zwykle wyposaża się rodziny pacjentów, u których zdiagnozowano niestabilne arytmie serca, dlatego rzadko spotyka się je w praktyce klinicznej. Do tej grupy zaliczają się jeszcze wszczepialne defibrylatory-stymulatory oraz automatyczne wszczepialne defibrylatory serca (*automatic implantable cardiac defibrillators* – AICD). Urządzenia te omówiono obszerniej w rozdziale 13.

Elektrody/łyżki

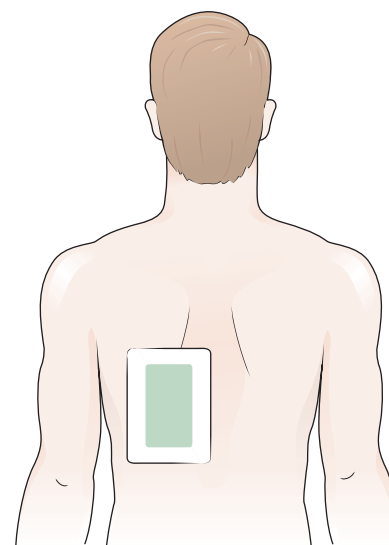
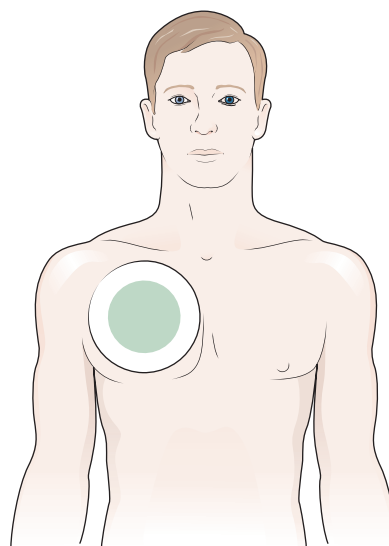
Pacjenta podłącza się do obwodu defibrylacji lub sprzęga z defibrylatorem/monitorem, umieszczając trzymane w rę-

kach łyżki lub samoprzylepne elektrody na klatce piersiowej (ryc. 12-15, zob. też ryc. 12-5 i 12-6) oraz/lub na plecach (ryc. 12-16). Większość – jeżeli nie wszystkie – defibrylatory posiadają obecnie wielofunkcyjne izolowane łyżki z wbudowanymi w uchwyty przyciskami kontrolnymi. Za ich pomocą zwykle ustawia się poziom energii impulsu, rozpoczyna ładowanie kondensatora, a także wyzwala wyładowanie (do tego ostatniego celu służą dwa przyciski – po jednym na każdej łyżce, a wyzwolenie wyładowania zwykle wymaga wciśnięcia obu). Niektóre modele wyposażono także w opcję „zapamiętywania zdarzeń”, umożliwiającą zanotowanie np. faktu podania leku podczas resuscytacji.

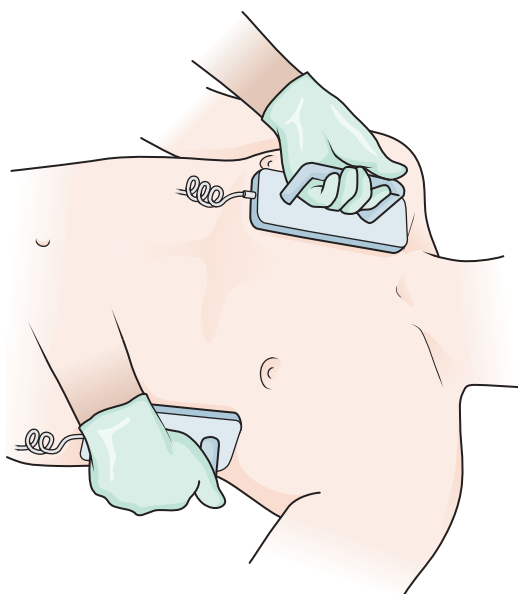
W przypadku konieczności przeprowadzenia defibrylacji u pacjentów pediatrycznych, na łyżki nakłada się specjalne nakładki (ryc. 12-17). Elektrody mogą także mieć różne rozmiary pozwalające na zastosowanie ich u pacjentów z tej grupy wiekowej³⁹ (więcej informacji na ten temat zawarto w części *Sprzęt i wyposażenie dla pacjentów pediatrycznych*). U pacjentów dorosłych zaleca się stosowanie łyżek o średnicy 12 cm, jeżeli są dostępne⁴⁰. Doświadczalnie potwierdzono skuteczność elektrod o średnicach od 8 do 12 cm. Zaleca się stosowanie większych łyżek w celu obniżenia oporności ściany klatki piersiowej oraz zapewnienia optymalnego natężenia prądu przepływającego przez mięsień sercowy, które skutecznie przerwie migotanie komór, jednocześnie powodując minimalne lub żadne znaczące uszkodzenia mięśnia sercowego wywołanego przetężeniem⁴¹. W tym celu należy używać największych dostępnych łyżek lub takich, które zmieszczą się na ścianie klatki piersiowej bez zachodzenia na siebie⁴¹. Należy unikać stosowania łyżek o zbyt małej średnicy, ponieważ mogą spowodować martwicę mięśnia sercowego⁴².

Materiały przewodzące

Użycie materiałów przewodzących (ryc. 12-18) jest ważne w celu obniżenia impedancji lub oporu przeciwko przepływowi prądu na styku elektroda–klatka piersiowa. Wysoka impedancja może ograniczyć ilość prądu dostarczonego do



Ryc. 12-16 Położenie elektrod na klatce piersiowej i plecach pacjenta (położenie naprzemienne).



Ryc. 12-15 Zastosowanie łyżek-elektrod z opcją szybkiego podglądu do określania rytmu serca (EKG) oraz do defibrylacji.



Ryc. 12-17 Nakładki pediatryczne na łyżki przeznaczone dla osób dorosłych.