

mgr Marek Małysz

**Ocena wybranych technik resuscytacji krążeniowo – oddechowej
osoby z podejrzeniem choroby zakaźnej przez personel medyczny
wyposażony w kombinezony ochronne w warunkach symulacji
medycznej**

**Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu
w dyscyplinie nauki medyczne**

Promotor: dr hab. n. med. Łukasz Szarpak



Obrona rozprawy doktorskiej przed Radą Dyscypliny Nauk Medycznych
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Warszawa 2020

Słowa kluczowe: resuscytacja krążeniowo – oddechowa; pozaszpitalne zatrzymanie krążenia; nagłe zatrzymanie krążenia; kompresja klatki piersiowej; jakość; sprzęt ochrony osobistej; COVID-19; SARS-CoV-2; symulacja medyczna

Keywords: cardiopulmonary resuscitation; out-of-hospital cardiac arrest; sudden cardiac arrest; chest compression; quality; personal protective equipment; COVID-19; SARS-CoV-2; medical simulation

*Składam serdecznie podziękowania
mojemu promotorowi Dr hab. n. med. Łukaszowi Szarpakowi
za opiekę oraz liczne rozmowy będące inspiracją
w kierunku nowych rozwiązań
i motywacją do jeszcze cięższej pracy.*

*Szczególne słowa podziękowania składam
mojej żonie Ewie za cierpliwość,
wrozumiałość i ogromne wsparcie.*

Wykaz publikacji stanowiących pracę doktorską:

- I. Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ładny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

(Punktacja MNiSW: 40,0; Impact Factor: 1,669)

- II. Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. *Kardiol Pol.* 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

(Punktacja MNiSW: 70,0; Impact Factor: 1,874)

- III. Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. *Disaster Emerg Med J.* 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

(Punktacja MNiSW: 20,0)

SPIS TREŚCI

WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW	5
STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM.....	6
STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM	10
1. WSTĘP.....	13
1.1. TECHNIKI KOMPRESJI KLATKI PIERSIOWEJ	14
1.1.1. KOMPRESJA KLATKI PIERSIOWEJ W ŚWIELE WYTICZNYCH RESUSCYTACJI KRAŻENIOWO - ODDECHOWEJ.....	14
1.1.2. <i>Urządzenia audio-wizualne wspomagające resuscytację</i>	17
1.1.3. <i>Mechaniczna kompresja klatki piersiowej</i>	20
1.2. WPŁYW COVID-19 NA EFEKTYWNOŚĆ RESUSCYTACJI KRAŻENIOWO – ODDECHOWEJ	22
2. CEL PRACY	23
3. KOPIE OPUBLIKOWANYCH PRAC	24
4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	74
5. OŚWIADCZENIA AUTORÓW PUBLIKACJI	78
6. SPIS RYCIN.....	105
7. PIŚMIENICTWO	106

WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW

AHA	Amerykańskie Towarzystwo Kardiologiczne (<i>ang. American Heart Association</i>)
CI	Przedział ufności (<i>ang. Confidence interval</i>)
ERC	Europejska Rada Resuscytacji (<i>ang. European Resuscitation Council</i>)
IHCA	Wewnątrzszpitalne zatrzymanie krążenia (<i>ang. In-hospital cardiac arrest</i>)
ILCOR	Międzynarodowy komitet łącznikowy ds. Resuscytacji (<i>ang. International Liaison Committee on Resuscitation</i>)
IQR	Rozstęp ćwiartkowy (<i>ang. Interquartile range</i>)
MD	Średnia różnica (<i>ang. Mean difference</i>)
NZK	Nagłe zatrzymanie krążenia
OHCA	Pozaszpitalne zatrzymanie krążenia (<i>ang. Out-of-hospital cardiac arrest</i>)
RKO	Resuscytacja krążeniowo - oddechowa

Streszczenie w języku polskim

Wstęp

Resuscytacja krążeniowo – oddechowa to złożony proces, na który składa się zarówno kompresja klatki piersiowej, zabezpieczenie dróg oddechowych i efektywna wentylacja jak również uzyskanie dostępu donaczyniowego i wdrożenie farmakoterapii. Zgodnie z wytycznymi Europejskiej Rady Resuscytacji (ERC) jak również Amerykańskiego Towarzystwa wysokiej jakości kompresja klatki piersiowej to kluczowy czynnik zwiększający szanse na powrót spontanicznego krążenia. Obecnie panująca pandemia koronawirusa SARS-CoV-2 wymusiła na personelu medycznym - w tym w szczególności personelu zespołów systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego – konieczność wykonywania procedur medycznych wobec pacjentów z podejrzeniem/potwierdzeniem infekcji stosując kombinezony ochrony osobistej. Jednakże jak wskazują liczne badania, zastosowanie niniejszych kombinezonów może wpływać na zmniejszenie jakości wykonywanych procedur, jak również wydłużać czas ich wykonania.

Cel pracy

Wspólnym celem serii badań wchodzących w skład cyklu publikacji spójnych tematycznie było porównanie różnych technik resuscytacji krążeniowo – oddechowej osoby z podejrzeniem choroby zakaźnej przez personel medyczny wyposażony w kombinezonach ochronne w warunkach symulacji medycznej.

Materiał i Metoda

Trzy badania wchodzących w skład cyklu publikacji zostały przeprowadzone w warunkach symulacji resuscytacji krążeniowo – oddechowej osoby dorosłej. Wszystkie badania zostały zaprojektowane jako badania prospektywne, obserwacyjne, randomizowane, krzyżowe i zostały przeprowadzone w oparciu o symulację medyczną. We wszystkich badaniach na potrzeby analizy statystycznej wyniki zostały zaślepiene.

W badaniu pierwszym porównującym kompresję klatki piersiowej z wykorzystaniem mechanicznego systemu kompresji klatki piersiowej LUCAS3, asystenta resuscytacji CPRMeter 2, oraz bezprzrządowej resuscytacji 35 studentów medycyny miało za zadanie

wykonanie 2-min cyklu ciągłej kompresji klatki piersiowej. Z uwagi na symulację pacjenta zakaźnego uczestnicy badania podczas resuscytacji ubrani byli w pełne kombinezony ochrony osobistej CBRN (kombinezon ProChem I F), maski twarzowe klasy FFP2, okulary ochronne, przyłbicę oraz podwójne rękawiczki nitrylowe.

W badaniu drugim stanowiącym kontynuację badania pierwszego, 67 ratowników medycznych miało za zadaniem prowadzenie 2-min cykli kompresji klatki piersiowej osoby dorosłej. W celu symulacji pacjenta zakaźnego z zatrzymaniem krążenia wykorzystano symulator osoby dorosłej SimMan 3G. Uczestnicy badania wykonywali cykle kompresji klatki piersiowej w sposób asynchroniczny w oparciu o wytyczne resuscytacji krążeniowo – oddechowej AHA 2015. Kompresja klatki piersiowej była prowadzona z wykorzystaniem trzech technik: a) system mechanicznej kompresji klatki piersiowej LUCAS3; b) asystent kompresji klatki piersiowej TrueCPR2; c) bezprzrządowa kompresja klatki piersiowej. Podczas kompresji klatki piersiowej uczestnicy byli ubrani podobnie jak w badaniu pierwszym w kombinezony ochronne CPRN.

Zarówno badanie pierwsze jak i drugie były badaniami wieloośrodkowymi.

W badaniu trzecim 37 ratowników medycznych ubranych w kombinezony CBRN klasy C, wykonywało 2-min cykle kompresji klatki piersiowej osoby dorosłej. Kompresja klatki piersiowej wykonywana była w sposób asynchroniczny i prowadzona była w dwóch scenariuszach badawczych: a) kompresja, gdy ratownik znajduje się z boku pacjenta; b) kompresja, gdy ratownik zajmuje miejsce za głową pacjenta. Zarówno kolejność uczestników badania jak i technik kompresji klatki piersiowej były losowe.

Wyniki

W badaniu pierwszym porównującym kompresję klatki piersiowej wykonywanej przez studentów medycyny w scenariuszu bezprzrządowej kompresji klatki piersiowej oraz z wykorzystaniem urządzenia CPRMeter i systemu kompresji LUCAS3. Głębokość kompresji klatki piersiowej z wykorzystaniem badanych metod kompresji była zróżnicowana i wynosiła odpowiednio 40 (IQR; 38-45) mm w przypadku bezprzrządowej kompresji klatki piersiowej, 45 (rozstęp ćwiartkowy, interquartile range, IQR; 40-50)mm dla CPRMeter oraz 51 (IQR; 50-52)mm dla systemu LUCAS3. Mediana częstości kompresji klatki piersiowej była również zróżnicowana i wynosiła odpowiednio: 109 (IQR; 102-131), 107 (IQR; 105-127) i 102 (IQR; 101-102) ucisków na minutę. Najwyższa poprawność relaksacji klatki piersiowej

była obserwowana w przypadku systemu LUCAS3 i wynosiła 100% (IQR; 95-100), następnie w przypadku kompresji z wykorzystaniem urządzenia CPRMeter – 80% (IQR; 60-90) i bezprzrządowej kompresji – 29% (IQR; 26-48).

W badaniu drugim porównującym jakość kompresji klatki piersiowej z wykorzystaniem systemu LUCAS3, urządzenia TrueCPR2 oraz bezprzrządowej kompresji klatki piersiowej, głębokość uciśnień była zróżnicowana i wynosiła odpowiednio: 51mm (IQR; 50-55), 47mm (IQR; 43-52) i 43mm (IQR; 38-46). Częstość kompresji klatki piersiowej wynosiła 102 (IQR 100-102) uciśnięcia na minutę dla systemu LUCAS3, 105 (IQR; 98-114) dla urządzenia TrueCPR oraz 116 (IQR; 112-129) dla bezprzrządowej kompresji klatki piersiowej. Stopień relaksacji klatki piersiowej był najwyższy wynosił 100% (IQR; 98-100) dla systemu LUCAS3, 83% (IQR; 60-92) dla urządzenia TrueCPR oraz 39% (IQR; 25-50) dla bezprzrządowej kompresji klatki piersiowej.

W badaniu trzecim badaniu oceniającym jakość kompresji klatki piersiowej zależnie od pozycji zajmowanej przez ratownika przy pacjencie, głębokość kompresji klatki piersiowej podczas zajmowania pozycji przy boku pacjenta wynosiła 42 ± 2 mm i była statystycznie istotnie niższa aniżeli w przypadku kompresji prowadzonej zza głowy pacjenta 46 ± 4 mm. Częstość kompresji klatki piersiowej przy wykorzystaniu powyższych dwóch technik była zróżnicowana i wynosiła odpowiednio 114.5 ± 8 oraz 107 ± 7 uciśnięć na minutę. Wyższą poprawność relaksacji klatki piersiowej uzyskano w przypadku resuscytacji prowadzonej z boku pacjenta ($42 \pm 6\%$) aniżeli zajmując pozycję zza głowy ($34 \pm 10\%$).

Wnioski

Przeprowadzone badania symulacyjne wskazują, iż w przypadku prowadzenia resuscytacji krążeniowo – oddechowej osoby z podejrzeniem/potwierdzeniem choroby zakaźnej personel medyczny ubrany w kombinezony ochrony osobistej CBRN powinien w celu optymalizacji jakości kompresji klatki piersiowej stosować mechaniczne systemy kompresji klatki piersiowej.

Bezprzrządowa kompresja klatki piersiowej prowadzona przez personel medyczny w kombinezonach CBRN zza głowy pacjenta generuje większą głębokość ucisków aniżeli w przypadku, gdy ratownik zajmuje pozycję z boku pacjenta.

Efektywność bezprzryądowej kompresji klatki piersiowej podczas gdy ratownik ubrany jest w kombinezon CBRN spada juŹ po pierwszej minucie kompresji, zasadnym zatem jest rozwaŹenie zmiany częstości osoby prowadzącej kompresję klatki piersiowej.

Streszczenie w języku angielskim

EVALUATION OF SELECTED CARDIOPULMONARY RESUSCITATION TECHNIQUES OF A PERSON WITH SUSPECTED INFECTIOUS DISEASE BY MEDICAL PERSONNEL EQUIPPED WITH PROTECTIVE SUITS UNDER MEDICAL SIMULATION CONDITIONS

Introduction

Cardiopulmonary resuscitation is a complex process, which includes both chest compression, airway management, and effective ventilation, as well as obtaining vascular access and pharmacotherapy. According to the guidelines of the European Resuscitation Council (ERC) as well as the American Heart Association, high quality chest compression is a key factor in increasing the chances of the return of spontaneous circulation. The current coronavirus SARS-CoV-2 pandemic forced medical personnel - including, in particular, the staff of the National Emergency Medical System teams - to perform medical procedures on patients with suspected/confirmed infections using personal protective suits. However, as numerous studies indicate, the use of these suits may reduce the quality of the procedures performed as well as increase the time of their performance.

Aim of the study

The common aim of the series of studies included in a series of thematically coherent publications was to compare different techniques of cardiopulmonary resuscitation of a person with the suspected infectious disease by medical personnel equipped with protective suits under medical simulation conditions.

Material and Method

Three studies included in the publication cycle were conducted under the conditions of simulation of cardiopulmonary resuscitation of an adult. All studies were designed as prospective, observational, randomized, cross-over studies and were based on medical simulation. In all studies for statistical analysis, the results were blinded.

In the first study to compare chest compressions using the LUCAS3 mechanical chest compression system, the CPRMeter 2 CPR feedback device, and the manual chest compression, 35 medical students were asked to perform a 2-min continuous chest

compression cycle. Due to the simulation of an infectious patient, the participants wore full CBRN (ProChem I F suit), FFP2 class masks, safety goggles, visor and double nitrile gloves during CPR.

In the second study, which is a continuation of the first one, 67 paramedics were tasked with conducting 2-minute chest compression cycles of an adult. An adult SimMan 3G simulator was used to simulate an infectious patient with cardiac arrest. Participants performed asynchronous chest compression cycles based on the AHA 2015 guidelines for cardiopulmonary resuscitation. Chest compressions were performed using three techniques: a) LUCAS3 mechanical chest compression system; b) TrueCPR2 assistant chest compression system; c) manual chest compression. During chest compressions, participants were dressed, as in the first study, in CBRN protective suits.

Both the first and second studies were multi-center studies.

In the third study 37 paramedics dressed in CBRN class C suits performed 2-minute chest compression cycles of an adult. Chest compressions were performed asynchronously and were performed in two study scenarios: a) compression when the rescuer is on the side of the patient; b) compression when the rescuer is behind the patient's head. Both the order of participants and the chest compression techniques were random.

Results

In the first study to compare the chest compressions performed by medical students in a scenario of unassisted chest compression and using the CPRMeter and LUCAS3 compression system. The depth of chest compressions using the compression methods studied varied and was 40 (IQR; 38-45) mm for unassisted chest compressions, 45 (interquartile range, IQR; 40-50)mm for CPRMeter, and 51 (IQR; 50-52)mm for LUCAS3. The median chest compression rate was also varied and amounted: 109 (IQR; 102-131), 107 (IQR; 105-127), and 102 (IQR; 101-102) compressions per minute respectively. The highest chest relaxation rate was observed for LUCAS3 and was 100% (IQR; 95-100), followed by 80% (IQR; 60-90) for CPRMeter and 29% (IQR; 26-48) for non-assisted (manual) compression.

In a second study comparing the quality of chest compressions using LUCAS3, TrueCPR2, and non-instrumented (manual) chest compressions, the depth of compressions varied and was accordingly: 51mm (IQR; 50-55), 47mm (IQR; 43-52) and 43mm (IQR; 38-

46) respectively. The chest compression rate was 102 (IQR 100-102) compressions per minute for LUCAS3, 105 (IQR; 98-114) for TrueCPR, and 116 (IQR; 112-129) for non-assisted chest compressions. The rate of chest relaxation was highest at 100% (IQR; 98-100) for LUCAS3, 83% (IQR; 60-92) for TrueCPR, and 39% (IQR; 25-50) for unassisted chest compressions. In the third study assessing the quality of chest compressions depending on the position of the rescuer at the patient's side, the depth of the chest compression during the patient's side position was 42 ± 2 mm and was statistically significantly lower than the 46 ± 4 mm behind the patient's head. The rate of chest compressions using these two techniques varied and was 114.5 ± 8 and 107 ± 7 compressions per minute respectively. Higher chest compressions were achieved with lateral position ($42 \pm 6\%$) than behind the head ($34 \pm 10\%$).

Conclusions

Simulation studies indicate that in the case of cardiopulmonary resuscitation of a person with suspected/confirmed infectious disease, medical personnel wearing CBRN personal protective suits should use mechanical chest compression systems to optimize the quality of chest compressions. Instrumentless (manual) chest compressions carried out by medical personnel in CBRN suits from behind the patient's head generates a greater compression depth than when the rescuer is in a patient's side position.

The effectiveness of instrumentless (manual) chest compressions, while the rescuer is wearing a CBRN suit, decreases after the first minute of compression, so it is reasonable to consider changing the rate of the person performing the chest compressions.

1. WSTĘP

Nagłe zatrzymanie krążenia stanowi wyzwanie dla personelu medycznego zarówno na etapie zespołów wyjazdowych Państwowego Ratownictwa Medycznego jak i leczenia szpitalnego. Może być spowodowane wieloma przyczynami, tak chorobowymi jak i urazowymi. Niezależnie jednak od przyczyny wymaga podjęcia jak najszybciej działań resuscytacyjnych [1], gdyż jak wskazują wytyczne resuscytacji krążeniowo – oddechowej publikowane przez Europejską Radę Resuscytacji (ERC) czy też Amerykańskie Towarzystwo Kardiologiczne (AHA) szanse na przeżycie w przypadku niepodejmowania resuscytacji krążeniowo – oddechowej spadają z każdą minutą o blisko 10% [2].

Nagłe zatrzymanie krążenia najczęściej dotyczy osób w przedziale wiekowym od 20 do 75 lat [3]. W przypadku osób poniżej 20 roku życia częstość występowania NZK wynosi od 1 do 4 przypadków na 100 000 mieszkańców [4]. Blisko 300 000 przypadków pozaszpitalnego zatrzymania krążenia (OHCA) notowanych jest rocznie w Ameryce Północnej, w Europie liczba ta wynosi blisko 250 000 przypadków [5,6]. Jak wynika z analizy przeprowadzonej przez Berdowski i wsp. częstość występowania OHCA w populacji osób dorosłych wynosi 95,9 na 100 000 mieszkańców rocznie. Częstość występowania OHCA różni się również względem regionów świata i wynosi odpowiednio 52,5 w przypadku Azji, 86,4 w przypadku Europy, 98,1 w przypadku Ameryki Północnej oraz 112,9 w przypadku Australii [7]. Berdowski wskazuje również na niską przeżywalność OHCA, wynoszącą zaledwie 7%. Wyższa przeżywalność sięgająca od 8% do 11% dotyczy pacjentów, u których do zatrzymania krążenia doszło w obecności zespołów ratownictwa medycznego, zatem działania resuscytacyjne były podjęte niezwłocznie po stwierdzeniu OHCA. Jak wskazują liczni autorzy od 25% do 67% osób u których przywrócono spontaniczne krążenie umiera w ciągu pierwszych 24 godzin po ROSC [8,9]. Przeżywalność do wypisu ze szpitala w przypadku wewnątrzszpitalnego zatrzymania krążenia wynosi średnio 20% [8], co jest rezultatem dostępności wysokospecjalistycznej opieki na miejscu zdarzenia.

1.1. Techniki kompresji klatki piersiowej

1.1.1. Kompresja klatki piersiowej w świetle wytycznych resuscytacji krążeniowo - oddechowej

Zasady prowadzenia resuscytacji krążeniowo – oddechowej warunkowane są wytycznymi resuscytacji publikowanymi przez wytyczne m.in. Europejskiej Rady Resuscytacji czy też Amerykańskiego Towarzystwa Kardiologicznego. Podczas prowadzenie badań uwzględnionych w cyklu publikacji obowiązywały wytyczne resuscytacji opublikowane w 2015 roku.

Wysokiej jakości kompresja klatki piersiowej to kluczowy element zabiegów resuscytacyjnych, tak u dorosłych jak i pacjentów pediatrycznych. Zgodnie z wytycznymi Amerykańskiego Towarzystwa Kardiologicznego na jakość kompresji klatki piersiowej składają się m.in. głębokość ucisków, częstość ucisków jak również relaksacja klatki piersiowej.

Głębokość ucisków klatki piersiowej podczas resuscytacji uznawana jest za istotny czynnik wpływający na jakość RKO. Zgodnie z wytycznymi AHA, głębokość ucisków klatki piersiowej u osoby dorosłej powinna wynosić od 5 do 6 cm. Aby osiągnąć taką głębokość należy wykonywać uciśnięcia klatki piersiowej z siłą przybliżoną do 50 kg nacisku [10]. Stiell i wsp. [11], jak również Vadeboncoeur i wsp. [12] wskazują na ścisłą korelację pomiędzy głębokość uciśnień powyżej 50mm a przeżywalnością.

Kolejnym istotnym elementem wpływającym na jakość kompresji klatki piersiowej jest częstość wykonywania uciśnień klatki piersiowej. W tym aspekcie wytyczne resuscytacji zalecają częstość w przedziale od 100 do 120 uciśnień na minutę. Nie ma jednakże konsensusu wśród badaczy na temat optymalnej częstotliwości kompresji klatki piersiowej. wskazuje badanie Lee i wsp. głębokość klatki piersiowej jest proporcjonalna do częstości kompresji klatki piersiowej ($r = 0,206$; $P < 0,001$), jednakże częstość kompresji klatki piersiowej powyżej 120 uciśnień na minutę związana jest z większym ryzykiem wykonywania niepełnej relaksacji klatki piersiowej [13]. Według Field i wsp. częstość 100-120 uciśnień na minutę jest najbardziej optymalna [14]. Duval i wsp. wskazują częstotliwość uciśnień na poziomie 107 jako najbardziej efektywną [15]. Sutton i wsp. z kolei wykazują w swoim badaniu, iż częstość kompresji klatki piersiowej w granicach od 80 do 100 uciśnień na minutę generowała wyższą przeżywalność do wypisu ze szpitala podobnie jak poprawę

stanu neurologicznego w porównaniu z wyższymi częstotliwościami kompresji [16]. Ponadto częstotliwości uciśnień powyżej 120 uciśnień w badaniu Suttona wiązała się z niższym ciśnieniem skurczowym.

Poprawna relaksacja klatki piersiowej stanowi nie mniej istotny element składający się na efektywność RKO [17]. Kompresję klatki piersiowej należy prowadzić w taki sposób, aby po każdym uciśnięciu następowało pełna jej relaksacja i powrót do pierwotnej wysokości. Dzięki uciskaniu klatki piersiowej na odpowiednią głębokość a następnie pozwalaniu na jej pełną relaksację wytwarzana jest w klatce piersiowej różnica ciśnień odpowiadająca za wytworzenie perfuzji narządowej [18,19].

Jak wspomniano uprzednio wytyczne ERC i AHA kładą wysoki nacisk na wysokiej jakości kompresję klatki piersiowej jak również minimalizację przerw w uciskaniu klatki piersiowej w tym przerw niezbędnych na wykonywanie oddechów ratowniczych [20,21]. W tym celu należy rozważyć jak najszybsze przyrządowe zabezpieczenie drożności dróg oddechowych z wykorzystaniem intubacji dotchawiczej bądź nadgłośniowych urządzeń do wentylacji. Wówczas zapewniamy pełną izolację dróg oddechowych i możliwość prowadzenia oddechu zastępczego z wykorzystaniem respiratora bądź worka samorozprężalnego. Nie ma ponadto konieczności wykonywania przerw w uciskach klatki piersiowej (tzw. Resuscytacja asynchroniczna) [22]. Minimalizacja tych przerw i prowadzenie ciągłej kompresji klatki piersiowej przez 2-min znacząco poprawia jakość resuscytacji oraz optymalizuje wartości uzyskiwanego w ten sposób ciśnienia perfuzyjnego. Ewy i wsp. prowadząc 12 minutową resuscytację na modelu zwierzęcym wykazali, iż ciągła kompresja klatki piersiowej związana była ze statystycznie wyższą 25-godziną przeżywalności w porównaniu z resuscytacją w trybie 30 uciśnień klatki piersiowej do 2 oddechów ratowniczych [23]. Ostatnie badania Sanson'a i wsp. również wskazują na przewagę asynchronicznej resuscytacji krążeniowo – oddechowej nad resuscytacją prowadzoną w trybie 30:2 [24].

Kolejnym czynnikiem mogącym mieć wpływ na jakość kompresji klatki piersiowej może mieć pozycja ratownika względem pacjenta. Standardowa pozycja opisywana przez wytyczne resuscytacji opiera się na pozycji z boku poszkodowanego. Wówczas ratownik zajmuje pozycję z boku poszkodowanego na wysokości jego klatki piersiowej (Rycina 1). Alternatywną dla pozycji z boku pacjenta jest pozycja z za jego głowy (Rycina 2). Jest ona szczególnie przydatna w przypadku, gdy resuscytacja prowadzona jest w jedną osobę. Poza

samym wykonywaniem uciśnień klatki piersiowej ułatwia również prowadzenie wentylacji za pomocą worka samorozprężalnego [25].



Rycina 1. Technika kompresji klatki piersiowej z boku pacjenta.

Źródło: Dominika Telecka-Gądek



Rycina 2. Technika kompresji klatki piersiowej z za głowy pacjenta.

Źródło: Dominika Telecka-Gądek

W październiku 2020 roku ukazała się nowa edycja wytycznych, która w zakresie parametrów kompresji klatki piersiowej nie uległa modyfikacjom względem omówionych powyżej wytycznych z 2015 roku [26].

1.1.2. Urządzenia audio-wizualne wspomagające resuscytację

Przykładem urządzeń audio-wizualnych służących do monitorowania a tym samym korekty parametrów wykonywanej kompresji klatki piersiowej w czasie rzeczywistym są urządzenia typu TrueCPR (PhysioControl, Redmond, WA, USA) czy też CPRMeter (Laerdal, Stavanger, Norwegia).

TrueCPR

TrueCPR zbudowany jest z dwóch elementów: pad podstawny powinien być ułożony pod plecami pacjenta, zaś główna część urządzenia winna być ułożona na mostku. Dzięki zastosowaniu technologii pomiaru pola magnetycznego urządzenie jest w stanie w czasie rzeczywistym dokonywać pomiarów głębokości ucisku, częstości uciśnień klatki piersiowej jak również poprawności jej relaksacji (Rycina 3). Jak wskazują badania Majer i wsp. zastosowanie TrueCPR poprawia jakość wykonywanej kompresji klatki piersiowej w porównaniu z techniką bezprzynadową [27]. Z kolei Smereka i wsp. wskazują na możliwość stosowania TrueCPR jako metody nauczania resuscytacji krążeniowo-oddechowej celem wyrobienia odpowiednich nawyków dotyczących wykonywania kompresji klatki piersiowej z odpowiednią głębokością, częstością jak również pełnego zwalniania ucisku po każdym z uciśnień [28].



Rycina 3. Urządzenie TrueCPR.

Źródło: archiwum autora.

CPRMeter

CPRMeter to kolejny rodzaj urządzenia audio-wizualnego ułatwiającego prowadzenie wysoko jakościowej kompresji klatki piersiowej (Rycina 4). Działanie urządzenia polega na

akcelerometrii, dzięki której mierzona jest głębokość kość i częstość ruchów klatki piersiowej w trakcie każdego jej uciśnięcia i na podstawie tych danych dzięki zastosowaniu odpowiednich algorytmów obliczana jest przebyta przez urządzenie odległość. Z kolei czujnik siły odpowiedzialny jest za pomiar siły nacisku w trakcie kompresji klatki piersiowej, dzięki której wyliczana jest m.in. poprawność relaksacji klatki piersiowej pomiędzy poszczególnymi jej uciśnięciami [29]. Urządzenie CPRMeter na wbudowanym ekranie pokazuje w czasie rzeczywistym parametry aktualnie prowadzonej kompresji klatki piersiowej (Rycina 5), dzięki czemu ratownik jest w stanie w czasie rzeczywistym - podobnie jak to ma miejsce w przypadku urządzenia TrueCPR – korygować sposób uciskania klatki piersiowej.



Rycina 4. Urządzenie CPRMeter2.

Źródło: archiwum autora.



Rycina 5. Parametry kompresji klatki piersiowej wyświetlane przez CPRMeter.

Źródło: opracowanie własne.

1.1.3. Mechaniczna kompresja klatki piersiowej

System LUCAS jest jednym z najczęściej stosowanych urządzeń do mechanicznej kompresji klatki piersiowej. Obecnie mamy doczynienia z trzecią generacją tego urządzenia. Pierwsza generacja była oparta była na działaniu pneumatycznym zatem zasilana była za pomocą sprężonego powietrza / tlenu. Druga i obecna trzecia generacja urządzenia są urządzeniami elektrycznymi zasilanymi z wbudowanej baterii bądź w przypadku jej wyczerpania mogą być podłączone do zwykłego źródła tlenu.

Urządzenie zbudowane jest z cienkiej podkładki pod plecy pacjenta, do której od góry dołącza się ramę z modulem kompresji (Rycina 6). Część uciskająca klatkę piersiową jest wyposażona w przyssawkę, dzięki której możliwa jest aktywna dekompresja klatki piersiowej [30].



Rycina 6. System mechanicznej kompresji klatki piersiowej LUCAS3.

Źródło: archiwum autora.

Panel kontrolny urządzenia jest bardzo intuicyjny i pozwala na prowadzenie resuscytacji krążeniowo-oddechowej w trybie asynchronicznym jak również trybie 30 uciśnień do 2 oddechów ratowniczych (Rycina 7). Urządzenie generuje co najmniej 100 ucisków na

minutę o głębokości 5 cm; zaś możliwość szybkiego jego zastosowania minimalizuje przerwy w procesie resuscytacji.

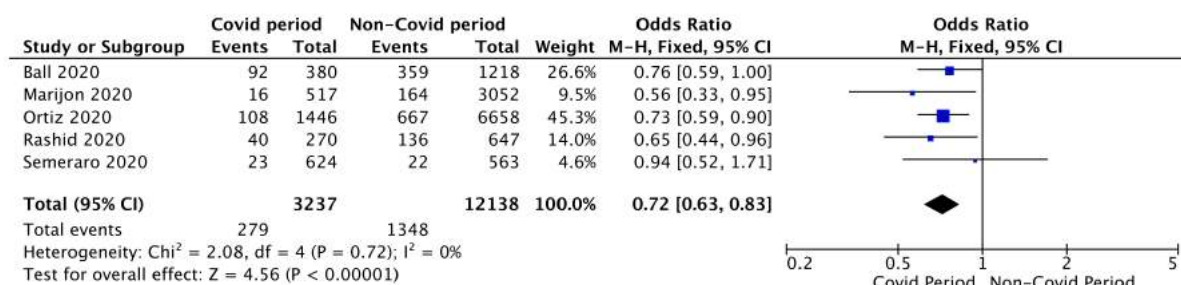
Dzięki takim rozwiązaniom jak system LUCAS, możliwe jest prowadzenie kompresji klatki piersiowej zarówno w warunkach przedszpitalnych podczas transportu do pacjenta do szpitala przy jednoczesnym prowadzeniu resuscytacji krążeniowo – oddechowej, jak również w warunkach szpitalnych przy przedłużającej się resuscytacji bądź w warunkach pracowni hemodynamiki. Dodatkowym atutem tego typu rozwiązań jest możliwość wykonywania defibrylacji bez konieczności przerywania uciśnień klatki piersiowej. Jak wskazują liczne badania symulacyjne zastosowanie systemu LUCAS podczas resuscytacji krążeniowo-oddechowej w znaczący sposób poprawia jakość kompresji klatki piersiowej w porównaniu z bezprzrządową kompresją klatki piersiowej [30,31]. Ponadto w przypadku ograniczonego personelu medycznego, zwłaszcza jak to ma miejsce w zespołach Państwowego Ratownictwa Medycznego, może on w tym czasie prowadzić inne procedury ukierunkowane na uzyskiwanie dostępu donaczyniowego, przygotowanie leków i płynów infuzyjnych, zabezpieczenie dróg oddechowych czy też rozważanie potencjalnie odwracalnych przyczyn zatrzymania krążenia.



Rycina 7. Panel kontrolny systemu kompresji klatki piersiowej LUCAS3. Źródło: archiwum autora.

1.2. Wpływ COVID-19 na efektywność resuscytacji krążeniowo – oddechowej

Pojawienie się masowej liczby zakażeń nowym koronawirusem SARS-CoV-2, wymusiło na towarzystwach naukowych opublikowanie rekomendacji postępowania z pacjentami z podejrzeniem i/lub potwierdzeniem choroby zakaźnej jaką jest COVID-19. Jak wskazują liczne badania przeżywalność do wypisu ze szpitala po pozaszpitalnym zatrzymaniu krążenia w dobie pandemii COVID-19 uległa znacznej redukcji (OR=0,72; 95%CI: 0,63, 0,83; P<0,001; Rycina 8) [32-36]. Może to być podyktowane wieloma czynnikami, w tym zmniejszeniem jakości wykonywanej resuscytacji krążeniowo-oddechowej przy zastosowaniu kombinezonów ochrony osobistej [37,38], wydłużeniem czasu dojazdu zespołów ratownictwa medycznego [32], czy też samą chorobą COVID-19, której jednym z powikłań jest zwiększenie krzepliwości i powstawanie mikrozakrzepów, które mogą wpływać niekorzystnie na mięsień sercowy, płuca jak i ośrodkowy układ nerwowy [39,40].



Rycina 8. Przeżywalność do wypisu ze szpitala w okresie pandemii COVID-19 oraz przed pandemią. Źródło: opracowanie własne.

Ludwin i wsp. wskazują, że w przypadku pacjentów hospitalizowanych i zaintubowanych, którzy są ułożeni w pozycji na brzuchu (*ang. prone position*) nie ma konieczności odwracania ich na plecy, aby prowadzić resuscytację krążeniowo – oddechową [41]. Uciskanie klatki piersiowej w momencie, gdy pacjent znajduje się na brzuchu może generować zarówno wyższe ciśnienie skurczowe jak i rozkurczowe [42,43]. Jednakże pozycja resuscytacji przy ułożeniu na brzuchu powinna być rozważana jedynie w warunkach leczenia szpitalnego. W warunkach przedszpitalnych powinniśmy stosować standardową technikę ułożenia na plecach pacjenta, z uwagi na konieczność wykonywania wielu procedur medycznych, w tym zabezpieczania dróg oddechowych.

2. CEL PRACY

Wspólnym celem serii badań wchodzących w skład cyklu publikacji spójnych tematycznie było porównanie różnych technik resuscytacji krążeniowo – oddechowej osoby z podejrzeniem choroby zakaźnej przez personel medyczny wyposażony w kombinezonach ochronne w warunkach symulacji medycznej.

3. KOPIE OPUBLIKOWANYCH PRAC

Resuscitation of the patient with suspected/ /confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial

Marek Malysz¹, Marek Dabrowski², Bernd W. Böttiger³, Jacek Smereka^{1, 4},
Klaudia Kulak⁵, Agnieszka Szarpak⁶, Miłosz Jaguszewski⁷,
Krzysztof J. Filipiak⁸, Jerzy R. Ladny^{1, 9}, Kurt Ruetzler¹⁰, Łukasz Szarpak^{1, 5}

¹Polish Society of Disaster Medicine, Warsaw, Poland

²Chair and Department of Medical Education, Poznan University of Medical Sciences, Poznan, Poland

³Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital of Cologne, Köln, Germany

⁴Department of Emergency Medical Service, Wrocław Medical University, Wrocław, Poland

⁵Lazarski University, Warsaw, Poland

⁶Maria Skłodowska-Curie Warsaw University, Warsaw, Poland

⁷1st Department of Cardiology, Medical University of Gdańsk, Poland

⁸1st Chair and Department of Cardiology, Medical University of Warsaw, Poland

⁹Clinic of Emergency Medicine, Medical University of Białystok, Poland

¹⁰Departments of General Anesthesiology and Outcomes Research, Cleveland Clinic,
Anesthesiology Institute, Cleveland, OH, United States

This paper was guest edited by Prof. Łukasz K. Czyżewski

Abstract

Background: The aim of the study was to evaluate various methods of chest compressions in patients with suspected/confirmed SARS-CoV-2 infection conducted by medical students wearing full personal protective equipment (PPE) for aerosol generating procedures (AGP).

Methods: This was prospective, randomized, multicenter, single-blinded, crossover simulation trial. Thirty-five medical students after an advanced cardiovascular life support course, which included performing 2-min continuous chest compression scenarios using three methods: (A) manual chest compression (CC), (B) compression with CPRMeter, (C) compression with LifeLine ARM device. During resuscitation they are wearing full personal protective equipment for aerosol generating procedures.

Results: The median chest compression depth using manual CC, CPRMeter and LifeLine ARM varied and amounted to 40 (38–45) vs. 45 (40–50) vs. 51 (50–52) mm, respectively ($p = 0.002$). The median chest compression rate was 109 (IQR; 102–131) compressions per minute (CPM) for manual CC, 107 (105–127) CPM for CPRMeter, and 102 (101–102) CPM for LifeLine ARM ($p = 0.027$). The percentage of correct chest recoil was the highest for LifeLine ARM — 100% (95–100), 80% (60–90) in CPRMeter group, and the lowest for manual CC — 29% (26–48).

Conclusions: According to the results of this simulation trial, automated chest compression devices (ACCD) should be used for chest compression of patients with suspected/confirmed COVID-19. In the absence of ACCD, it seems reasonable to change the cardiopulmonary resuscitation algorithm (in the context of patients with suspected/confirmed COVID-19) by reducing the duration of the cardiopulmonary resuscitation cycle from the current 2-min to 1-min cycles due to a statistically significant reduction in the quality of chest compressions among rescuers wearing PPE AGP. (Cardiol J 2020; 27, 5: 497–506)

Key words: chest compression, cardiopulmonary resuscitation, quality, COVID-19, SARS-CoV-2, medical simulation

Address for correspondence: Łukasz Szarpak, Assoc. Prof. PhD, Lazarski University, ul. Świeradowska 43,
02-662 Warszawa, Poland, tel: +48 500186225, e-mail: lukasz.szarpak@gmail.com

Received: 6.04.2020

Accepted: 7.05.2020

Introduction

The current coronavirus severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) pandemic which causes the disease as defined by the World Health Organization (WHO): COVID-19 represents a challenge for medical personnel, specifically including those who are particularly exposed to this type of patient [1]. Since the appearance of the first cases in China in December 2019, the virus has spread around the world. As of 1 May 2020, the number of confirmed infections worldwide has reached 3,260,373, including 233,996 deaths from the virus. The virus is transmitted from human to human by droplets [2, 3]. Therefore, medical personnel for patients with suspected/confirmed COVID-19 should use full personal protective equipment (PPE) for aerosol generating procedures (AGP) to reduce the risk of infection [4–6]. Yang et al. [7] indicated that in COVID-19-infected patients, comorbidities and the diagnosed underlying diseases include: hypertension, respiratory system and cardiovascular diseases may be a risk factors for severe compared with a non-severe course of the disease. Considering the above, as well as a mortality rate of nearly 5.4%, medical personnel may have to undertake resuscitation procedures on such a person.

Resuscitation guidelines are published by, among others, the European Resuscitation Council (ERC) [8, 9] or the American Heart Association (AHA) [10, 11]. On 24 April 2020 ERC published guidelines for conduct in COVID-19, which indicates the need to use personal protective equipment during resuscitation [12], but reference was not made to the impact of PPE AGE on the quality of resuscitation and thus the possibility of changing the resuscitation algorithm. However, as studies indicate, PPE may hinder medical procedures [13–15]. Chest compression systems including automatic chest compression devices (ACCD) or cardiopulmonary resuscitation (CPR) feedback devices which may be helpful in this regard. In the case of ACCD, CPR guidelines do not recommend their routine use. Resistance from the main medical community are based on the belief that ACCD causes more chest damage than manual chest compression (CC). Studies by Koster et al. [16] LUCAS suggest that a chest compression device does not cause significantly more serious or life-threatening visceral damage than manual CC.

The aim of the study was to evaluate various methods of chest compressions in a patient

with suspected/confirmed SARS-CoV-2 infection conducted by medical students wearing full PPE for AGP. The hypothesis herein, is that the chest compression with LifeLine ARM was superior to CPRMeter as well as manual chest compression.

Methods

Study design

A multicenter, randomized, single-blinded, crossover simulation study was conducted to evaluate chest compression quality of patients with suspected/confirmed COVID-19 by medical students wearing PPE for AGP. Study protocol was approved by Institutional Review Board of Polish Society of Disaster Medicine (Approval no. 09.01.2020.IRB). The study was conducted in medical simulation centers at Lazarski University (Warsaw, Poland) and Poznan University of Medical Science (Poznan, Poland) in February 2020.

Participants

The sample size was based on expected differences in time to intubation and calculated with $G \times \text{Power}$ 3.1 using the two-tailed t-test (Cohen's $d = 0.8$, alpha error = 0.05, power = 0.95). It was determined that a minimum of 32 participants were required for a pair-wise comparison of the samples. 35 medical students were recruited who had successfully completed an advanced cardiovascular life support (ACLS) course. Written voluntary informed consent was obtained from each participant prior to the study.

Equipment and materials

- Two devices were used in the present study:
- CPRMeter feedback device (Laerdal, Stavanger, Norway), which is an accelerometer device. Placed in the middle of the chest and pressed by a rescuer, it shows the correctness of the rate of chest compressions, the depth of compressions as well as chest recoil [17, 18];
 - LifeLine ARM automatic chest compression device (Defibtech, LLC, Guilford, CT, USA), which allows for automatic chest compression in two modes: 30:2 and in an asynchronous mode [19].

The reference method was manual chest compression.

To simulate a patient with suspected/confirmed COVID-19 requiring CPR, Resusci Anne Advanced SkillTrainer manikin (Laerdal, Stavanger, Norway) was used, which was placed on the floor in a brightly lit room.

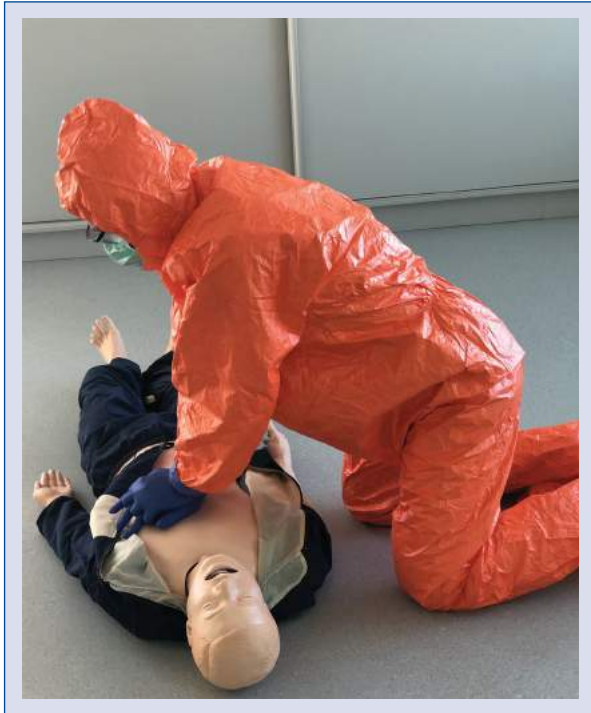


Figure 1. Rescuer with personal protective equipment for aerosol generating procedures.

The participants were dressed in a ProChem I F suit providing protection against organic and inorganic chemicals in high concentrations and against particles less than $1\ \mu\text{m}$ in diameter. This suit also protects against biological hazards and toxic agents and is often used during the current COVID-19 pandemic. To simulate real actions against a SARS-CoV-2 patient, the participants additionally wore a protective mask with FFP2 filter, protective goggles and a visor as well as double nitrile gloves (Fig. 1).

Interventions

All participants completed a brief questionnaire consisting of demographic information (age, sex). Before starting this trial, instructors gave medical students lectures for 30 min about the risks associated with SARS-CoV-2 coronavirus and how to perform CPR using the methods to be tested. The participants, wearing PPE AGP, had to conduct a 2-min cycle of continuous chest compressions in adults. In order to achieve the desired effect and focus only on parameters related to chest compressions, the scenario where the patient was intubated was foreseen, which made it possible to conduct continuous chest compressions. Chest compressions were performed using three methods:

(A) Manual CC, (B) compression using the CPRMeter feedback device, (C) compression using the Life-Line ARM system.

Both the sequence of participants and chest compression methods were random. The ResearchRandomizer program was used for this purpose. Participants were divided into three groups. The first group started compressions using the manual method, the second using CPRMeter and the third using LifeLine ARM. After a 2-min CC cycle, the participants had a 2-h break and then performed chest compressions using another method. A detailed randomization procedure is shown in Figure 2.

Measurements

All parameters were recorded using Skill-Reporter software (Laerdal, Stavanger, Norway) attached to the simulator. Additionally, in order to analyze the parameters at intervals of 20 s, the parameters were recorded in real time using GoPro HERO 5 Black camera (GoPro, Inc., CA, USA). The parameters such as: depth of CCs, rate of CCs and degree of chest recoil were analyzed. The parameters as indicated by the ERC and AHA guidelines were employed, according to the depth of CCs of an adult should be in the range of 50–60 mm, a compression rate should be from 100 to 120 compressions per minute (CPM), was used as reference values [8, 10].

Following the completion of this scenario, the participants were asked to grade each chest compression method based on the fatigue according to visual-analogue scale (VAS) (1 = no fatigued, 100 = extremely fatigued) in the relevant scenario, but they discouraged from an overall ranking of the devices.

Statistical analysis

The data were compiled using a standard spreadsheet application (Excel, Microsoft, Redmond, WA, USA) and were analyzed using the Statistica version 13.3EN (Tibco Inc, Tulusa, OK, USA). Data were blinded from the team interpreting the results. All participant and chest compression parameter data were summarized descriptively. Categorical data are presented as raw numbers and as frequencies, and continuous and ordinal data are presented as the median and interquartile range (IQR). The Friedman test was used for intra-group analysis, and for a pairwise comparison, the Wilcoxon signed-rank test was used. In all analyses, a significance level $p < 0.05$ was used.

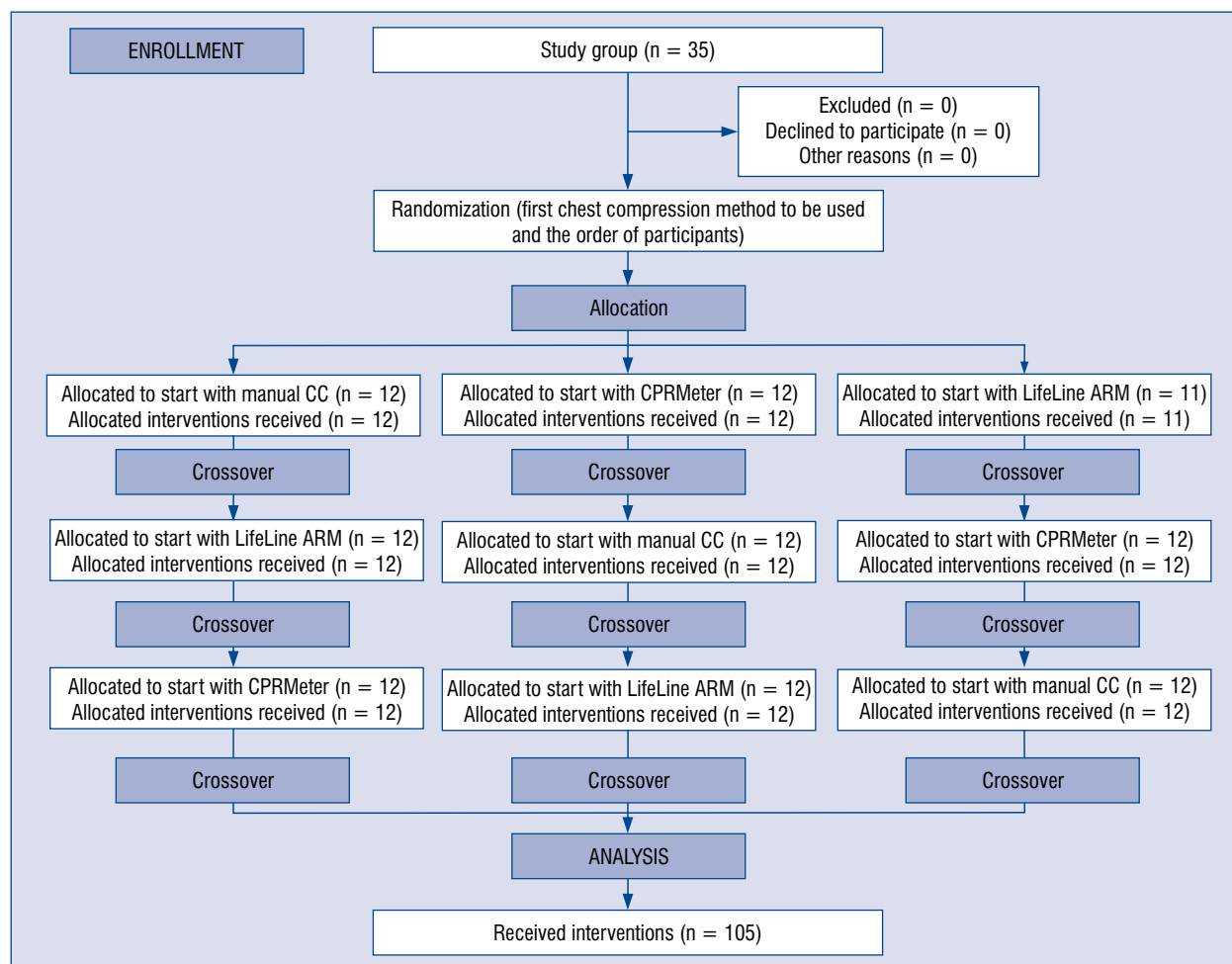


Figure 2. Randomization flow chart; CC — chest compression.

Table 1. Comparison of chest compression (CC) quality parameters.

Parameter	Chest compression technique			P
	Manual CC	CPRMeter	LifeLine ARM	
Chest compression depth	40 (38–45)	45 (40–50)	51 (50–52)	0.002
Chest compression rate	109 (102–131)	107 (105–127)	102 (101–102)	0.027
Correct chest recoil	29 (26–48)	80 (60–90)	100 (95–100)	< 0.001

Results

Thirty-five medical students after an ACLS course were enrolled. There were no exclusions in the present study.

Chest compression parameters

Data on the quality of 2-min CCs are presented in Table 1. Analysis of the quality of 2-min CCs showed statistically significant differences in the depth of CCs performed manually, using CPRMeter

and LifeLine ARM (40 mm [38–45] vs. 45 mm [40–50] vs. 51 mm (50–52), respectively; $p = 0.002$). Statistically significant differences in chest compression depth between manual chest compressions and CPRMeter ($p = 0.031$) and LifeLine ARM ($p < 0.001$) were shown. The difference was also observed between CPRMeter and LifeLine ARM ($p = 0.002$; **Suppl. Table 1**).

Compression rates for manual CC was 109 (IQR 102–131) CPM, 107 (IQR 105–127) CPM for CPRMeter feedback device, and 102 (IQR 101–102)

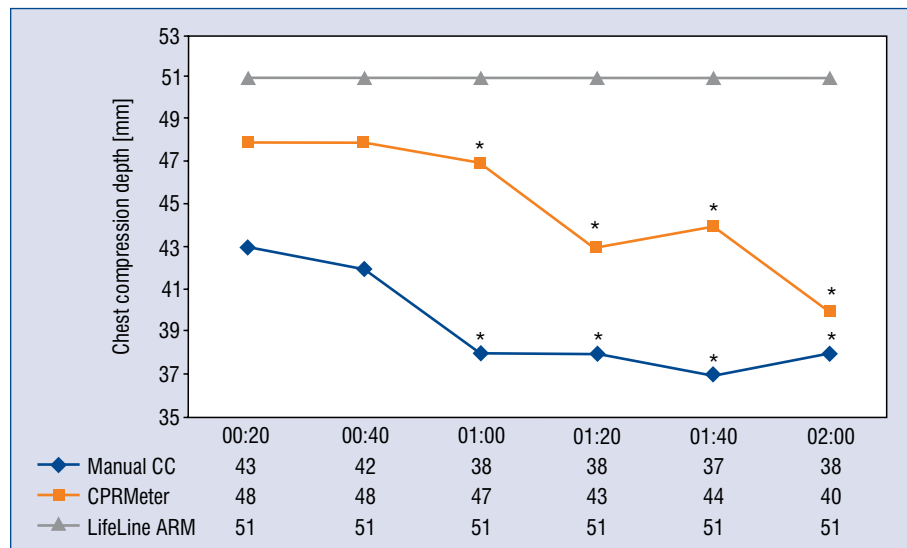


Figure 3. Chest compression (CC) depth parameters relative to time intervals; *Significant difference ($p < 0.05$) compared to the time of 20 s of an appropriate CC technique.

CPM for LifeLine ARM ($p = 0.027$). As in the previous parameter, statistically significant differences were observed between manual compression and CPRMeter ($p = 0.047$), manual compression and LifeLine ARM ($p = 0.001$), and between CPRMeter and LifeLine ARM ($p = 0.006$).

The best chest recoil was observed with LifeLine ARM systems — 100% (IQR 95–100), followed by CPRMeter — 80% (IQR 60–90), and the lowest for manual CC — 29% (IQR 26–48). These differences were statistically significant ($p < 0.001$). Two-sided analysis showed statistically significant differences in the percentage of correct chest recoils between manual CC and CPRMeter ($p < 0.001$), manual CC vs. LifeLine ARM ($p < 0.001$) as well as between CPRMeter and LifeLine ARM ($p < 0.001$).

Chest compression quality in 20-s periods

An analysis of the depth of chest compressions carried out in 20-s intervals is shown in Figure 3. Statistical analysis showed a significant reduction in the depth of CCs above 60 s for both manual CC and CPRMeter.

The chest compression rate showed statistically significant differences for manual CC and CPRMeter groups (Fig. 4).

The percentage of correct chest recoils for manual CC was significantly reduced after only 60 s of CPRMeter (Fig. 5). Percentage of correct chest recoils in LifeLine ARM remained the same throughout the entire chest compression period.

Fatigue VAS score

The degree of fatigue of study participants performing CCs based on VAS score when using manual CC, CPRMeter and LifeLine ARM groups was varied and were observed accordingly 75 (IQR 45–90) vs. 80 (IQR 50–90) vs. 20 (IQR 20–30) points ($p = 0.002$). There was statistically significant differences in degree of fatigue between manual chest compression and LifeLine ARM ($p < 0.001$), and between CPRMeter and LifeLine ARM ($p < 0.001$).

Discussion

Recent guidelines of the ERC as well as the AHA indicate a direct impact of high-quality CC on the effectiveness of resuscitation [8, 10] and thus, the return of spontaneous circulation and reduction of neurological deficits caused by hypoxemia.

During CPR, the need to interrupt CCs to provide synchronous ventilation prevents blood flow continuity, reducing the possibility to ensure high-quality CPR and have a negative impact on perfusion and patient outcome [20, 21]. In this study, continuous CCs were performed because, as indicated by ERC and AHA guidelines, the key role during CPR is to minimize pauses in CCs [8, 10]. In the case of patient intubation, continuous (asynchronous to emergency ventilation) CCs are possible [22]. As numerous studies indicate, it is the most effective method, because by eliminating long pauses accompanying rescue breathing improves

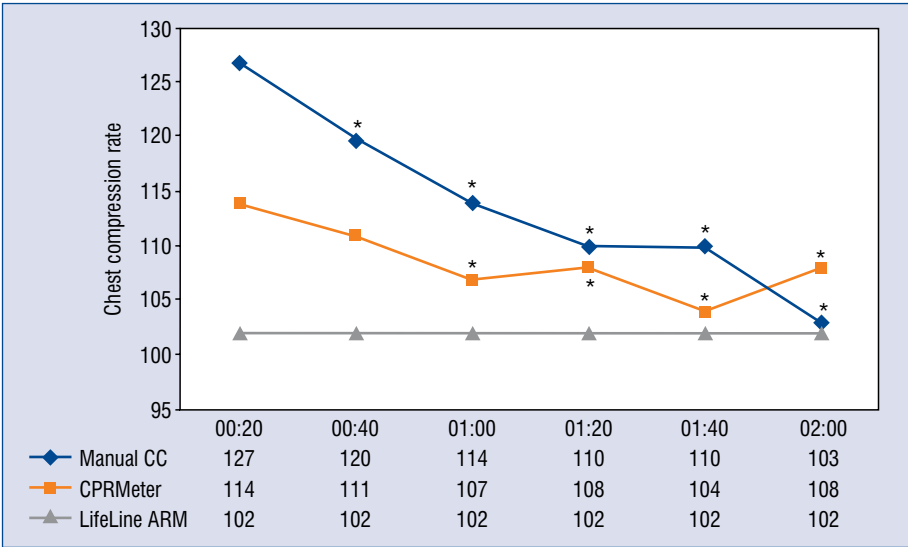


Figure 4. Chest compression (CC) rate parameters relative to time intervals; *Significant difference ($p < 0.05$) compared to the time of 20 s of an appropriate CC technique.

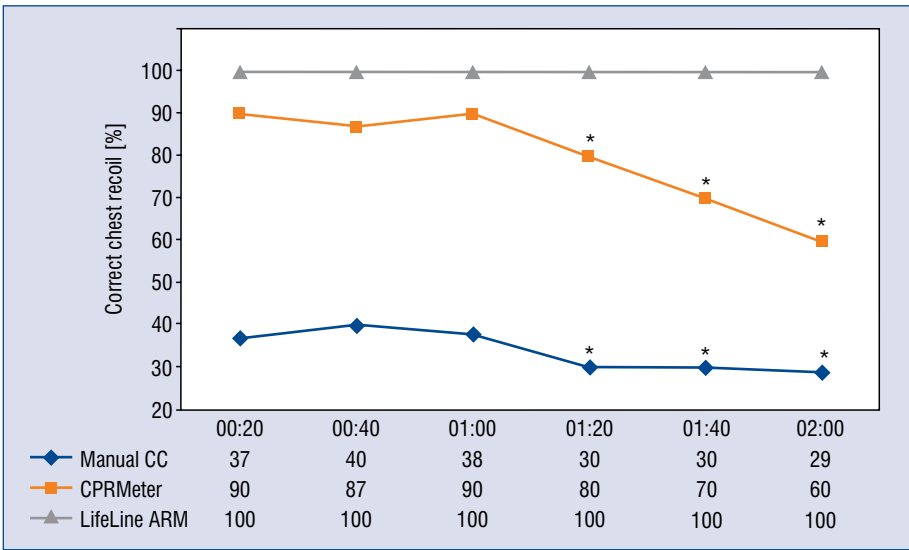


Figure 5. Percentage of correct chest recoil parameters relative to time intervals; *Significant difference ($p < 0.05$) compared to the time of 20 s of an appropriate chest compression (CC) technique.

perfusion pressure [22–24]. Continuous chest compression, as indicated by Heidenreich et al. [23] resulted in more adequate compressions per minute than standard CPR for the first 2 min of CPR. However, as the duration of the resuscitation increases, continuous chest compression technique leads to more fatigue for the rescuer. The reduction of fatigue may be influenced by the physical condition of the rescuer [25]. However, the application of PPE, as shown by numerous studies, may reduce

the efficiency of medical procedures [26], starting with CCs [27], by obtaining vascular access [28, 29], ending with airway management [30, 31]. A factor influencing the quality of CPR is the depth of CCs [32]. For CPR without PPE AGP, the depth of CCs decreases after about 2 min of compressions [33]. In the current study there were statistically significant differences in the depth of CCs between the different methods of CCs. In the case of manual

CC and CPRMeter groups, a statistically significant decrease in the depth of CCs was observed after 1 min of resuscitation, which may have been caused by excessive fatigue of participants performing CCs as a result of using PPE AGP [13]. Other authors also point to the problem of reduced quality of CCs when using PPE [13, 27, 34]. In the present study, the CC depth during the use of ACCD was equal throughout the whole resuscitation process and was consistent with current CPR guidelines, due to the fact that the chest CC depth was performed automatically. This method of compression also allows CPR to be performed during patient transport to the hospital as well as during prolonged resuscitation [35, 36].

During CPR full chest recoil after each compression is independently associated with improved survival and is independently associated with improved survival and favorable neurologic outcome at hospital discharge after adult out-of-hospital cardiac arrest [37, 38]. Analysis of the obtained results showed that medical students dressed in PPE AGP perform manual CCs in an insufficient manner. The problem of incomplete chest relaxation is reduced when using CPRMeter. The results obtained are confirmed by other studies [39, 40]. Similar to the depth of compressions, chest recoil is significantly reduced after 1 min of continuous CC (in manual CC and CPRMeter groups). This may be due to fatigue of the rescuer and subsequent CC after each compression. CCs to the appropriate depth and then performing full chest recoil is a prerequisite for optimal perfusion pressure [24, 41].

The rate of CC is also an important element of high-quality CC. CPR guidelines recommend that CC should be performed at a rate of 100–120 CPM. Idris et al. [42] confirms that compression rates between 100 and 120 per minute were associated with the greatest survival to hospital discharge. A higher compression rate than 120 CPM may improve organ perfusion but does not increase survival. However, it may lead to faster fatigue of the rescuer, which consequently results in lower quality of CCs [43, 44]. Chen et al. [34] suggested that the use of PPE may reduce the rate of chest compression.

Cardiopulmonary resuscitation feedback devices facilitate CCs by showing real-time compression parameters [45, 46]. Iskrzycki et al. [47] in his study showed that visual real-time feedback device significantly improved quality of CPR performer by lifeguards. In contrast Wattenbarger et al. [48] stated that a targeted training intervention combined

with real-time CPR feedback improved CC performance among health care providers. However, the use of such a device still requires force from the rescuer and also leads to fatigue. In the study, after 1 min of continuous CCs, rescuers dressed in PPE AGP were both statistically significant in reducing the depth of CCs and in reducing chest recoil. This may result in reduced effectiveness of the whole resuscitation process. Another solution aimed at improving the quality of CC is the automatic CC system. Taking into account the fact that the quality of CCs performed by medical personnel is in many cases insufficient [49], there can be a remedy for this problem. Analysis of the data obtained in this study showed that LifeLine ARM, an example of ACCD, performed CCs at the appropriate depth and at the programmed compression rate. As indicated by the studies Szarpak et al. [50], and Truszczyński et al. [51] LifeLine ARM resuscitation using LifeLine ARM had significantly better quality compared to manual chest compressions.

The use of such systems is particularly important when paramedics are unable to perform high quality CPR — and this is the case for patients with suspected/confirmed COVID-19 when, due to the coronavirus, personnel must be equipped with PPE AGP.

Limitations of the study

There were several limitations in the present study. First, an adult manikin was used to simulate patients requiring CPR. Therefore, the quality of chest compressions may differ from that of CPR under real CPR. However, the choice of medical simulation as a research method was deliberate and was dictated by the fact that it is medical simulation that allows for full standardization of performed procedures without the risk of complications for a potential patient [24, 52, 53], moreover, in the current pandemic, conducting research — in particular randomized cross-over study under emergency conditions could endanger both the patient and the rescuer. The second limitation was to include only medical students in the study, however, this group may be involved in providing medical assistance in a disaster or emergency situation, hence an assessment of the possibility of CPR in PPE AGP is one of the key actions to determine an optimal method of CPR.

The study also has its strengths. Among them, was the randomized cross-over study design, as well as the fact that it was a multi-center study. Additionally, a single-blinded study was utilized, increasing its value. Another aspect supporting

this study is the fact that, according to available research, this is the first study comparing different methods of CC of patients with suspected/confirmed COVID-19 by rescuers wearing personal protective equipment for aerosol generating procedures.

Conclusions

In conclusion, according to the results of this simulation trial, ACCD should be used for CC of patients with suspected/confirmed COVID-19. In the absence of ACCD, it seems reasonable to change the CPR algorithm (in the context of patients with suspected/confirmed COVID-19) by reducing the duration of the CPR cycle for one rescuer from the current 2-min to 1-min cycles due to a statistically significant reduction in the quality of CCs among rescuers wearing PPE AGP. More studies on chest compression quality with PPE AGP should be conducted to confirm those data.

Acknowledgements

We would thank to all the medical students who participated in this trial. The present study was supported by the ERC Research NET and Polish Society of Disaster Medicine.

Conflict of interest: Bernd W. Böttiger is European Resuscitation Council (ERC) Board Director Science and Research; Chairman of the German Resuscitation Council (GRC); Member of the, Advanced Life Support (ALS) Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation, Member of the executive committee of the German Interdisciplinary Association for Intensive and Emergency Medicine (DIVI); Associated Editor of the European Journal of Anaesthesiology (EJA), Co-Editor of “Resuscitation”; Editor of the Journal “Notfall + Rettungsmedizin”. He received professional fees for lectures from the following companies: Medupdate GmbH, “Forum für medizinische Fortbildung (FomF)”, Baxalta Deutschland GmbH, Bayer Vital GmbH, ZOLL Medical Deutschland GmbH, C.R. Bard GmbH, GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH. Others authors have no potential conflict of interest relevant to this article.

References

1. Rothan HA, Byrareddy SN. The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *J Autoimmun.* 2020; 109: 102433, doi: [10.1016/j.jaut.2020.102433](https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433), indexed in Pubmed: [32113704](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32113704/).

2. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020; 382(16): 1564–1567, doi: [10.1056/NEJMc2004973](https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973), indexed in Pubmed: [32182409](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32182409/).
3. Dzieciatkowski T, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. COVID-19 challenge for modern medicine. *Cardiol J.* 2020; 27(2): 175–183, doi: [10.5603/CJ.a2020.0055](https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0055), indexed in Pubmed: [32286679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32286679/).
4. Verbeek JH, Rajamaki B, Ijaz S, et al. Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016; 4: CD011621, doi: [10.1002/14651858.CD011621.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD011621.pub2), indexed in Pubmed: [27093058](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27093058/).
5. Smereka J, Szarpak L. COVID 19 a challenge for emergency medicine and every health care professional. *Am J Emerg Med.* 2020 [Epub ahead of print], doi: [10.1016/j.ajem.2020.03.038](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.03.038), indexed in Pubmed: [32241630](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32241630/).
6. Smereka J, Szarpak L, Filipiak K. Modern medicine in COVID-19 era. *Disaster Emerg Med J.* 2020, doi: [10.5603/demj.a2020.0012](https://doi.org/10.5603/demj.a2020.0012).
7. Yang J, Zheng Ya, Gou Xi, et al. Prevalence of comorbidities and its effects in coronavirus disease 2019 patients: A systematic review and meta-analysis. *Int J Infect Dis.* 2020 [Epub ahead of print]; 94: 91–95, doi: [10.1016/j.ijid.2020.03.017](https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.017), indexed in Pubmed: [32173574](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32173574/).
8. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, et al. Adult advanced life support section Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation.* 2015; 95: 100–147, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.07.016](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.016), indexed in Pubmed: [26477701](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26477701/).
9. Truhlar A, Deakin CD, Soar J, et al. Cardiac arrest in special circumstances section Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation.* 2015; 95: 148–201, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.017), indexed in Pubmed: [26477412](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26477412/).
10. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2015; 132(18 Suppl 2): S444–S464, doi: [10.1161/CIR.0000000000000261](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000261), indexed in Pubmed: [26472995](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26472995/).
11. Lavonas EJ, Drennan IR, Gabrielli A, et al. Part 10: Special Circumstances of Resuscitation: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2015; 132(18 Suppl 2): S501–S518, doi: [10.1161/CIR.0000000000000264](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000264), indexed in Pubmed: [26472998](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26472998/).
12. European Resuscitation Council. European Resuscitation Council COVID-19 Guidelines. www.erc.edu (Access: 24 April, 2020).
13. Martín Rodríguez F, Fernández Pérez C, Castro Villamor M, et al. Does level D personal protective equipment guard against hazardous biologic agents during cardiopulmonary resuscitation? *Emergencias.* 2018; 30(2): 119–122, indexed in Pubmed: [29547235](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29547235/).
14. Wiechmann W, Toohey S, Majestic C, et al. Intubating ebola patients: technical limitations of extensive personal protective equipment. *West J Emerg Med.* 2015; 16(7): 965, doi: [10.5811/westjem.2015.10.28779](https://doi.org/10.5811/westjem.2015.10.28779), indexed in Pubmed: [26759639](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26759639/).
15. Smereka J, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. Which intravascular access should we use in patients with suspected/confirmed COVID-19? *Resuscitation.* 2020 [Epub ahead of print]; 151: 8–9, doi: [10.1016/j.resuscitation.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.014), indexed in Pubmed: [32304800](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32304800/).

16. Koster RW, Beenen LF, van der Boom EB, et al. Safety of mechanical chest compression devices AutoPulse and LUCAS in cardiac arrest: a randomized clinical trial for non-inferiority. *Eur Heart J*. 2017; 38(40): 3006–3013, doi: [10.1093/eurheartj/ehx318](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx318), indexed in Pubmed: [29088439](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29088439/).
17. Iskrzycki L, Smereka J, Rodriguez-Nunez A, et al. The impact of the use of a CPRMeter monitor on quality of chest compressions: a prospective randomised trial, cross-simulation. *Kardiol Pol*. 2018; 76(3): 574–579, doi: [10.5603/KPa2017.0255](https://doi.org/10.5603/KPa2017.0255), indexed in Pubmed: [29297195](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29297195/).
18. Majer J, Kaminska H, Wiecek W, et al. Impact of a cprmeter feedback device on chest compression quality performed by nurses — a randomized crossover study. *Disaster Emerg Med J*. 2018; 3(1): 36–37, doi: [10.5603/demj.2018.0008](https://doi.org/10.5603/demj.2018.0008).
19. Szarpak L, Truszczyński Z, Czyżewski L, et al. CPR using the life-line ARM mechanical chest compression device: a randomized, crossover, manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2017; 35(1): 96–100, doi: [10.1016/j.ajem.2016.10.012](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.10.012), indexed in Pubmed: [27756513](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27756513/).
20. Ewy GA, Zuercher M, Hilwig RW, et al. Improved neurological outcome with continuous chest compressions compared with 30:2 compressions-to-ventilations cardiopulmonary resuscitation in a realistic swine model of out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2007; 116(22): 2525–2530, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.107.711820](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.711820), indexed in Pubmed: [17998457](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17998457/).
21. Smereka J, Bielski K, Ladny JR, et al. Evaluation of a newly developed infant chest compression technique: A randomized crossover manikin trial. *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96(14): e5915, doi: [10.1097/MD.0000000000005915](https://doi.org/10.1097/MD.0000000000005915), indexed in Pubmed: [28383397](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28383397/).
22. Heidenreich JW, Berg RA, Higdon TA, et al. Rescuer fatigue: standard versus continuous chest-compression cardiopulmonary resuscitation. *Acad Emerg Med*. 2006; 13(10): 1020–1026, doi: [10.1197/j.aem.2006.06.049](https://doi.org/10.1197/j.aem.2006.06.049), indexed in Pubmed: [17015418](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17015418/).
23. Heidenreich JW, Sanders AB, Higdon TA, et al. Uninterrupted chest compression CPR is easier to perform and remember than standard CPR. *Resuscitation*. 2004; 63(2): 123–130, doi: [10.1016/j.resuscitation.2004.04.011](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2004.04.011), indexed in Pubmed: [15531062](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15531062/).
24. Smereka J, Szarpak L, Rodríguez-Núñez A, et al. A randomized comparison of three chest compression techniques and associated hemodynamic effect during infant CPR: A randomized manikin study. *Am J Emerg Med*. 2017; 35(10): 1420–1425, doi: [10.1016/j.ajem.2017.04.024](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.04.024), indexed in Pubmed: [28433454](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28433454/).
25. Abelairas-Gómez C, Barcala-Furelos R, Szarpak Ł, et al. The effect of strength training on quality of prolonged basic cardiopulmonary resuscitation. *Kardiol Pol*. 2017; 75(1): 21–27, doi: [10.5603/KPa2016.0165](https://doi.org/10.5603/KPa2016.0165), indexed in Pubmed: [27878801](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27878801/).
26. Adler MD, Krug S, Eiger C, et al. Impact of personal protective equipment on the performance of emergency pediatric tasks. *Pediatr Emerg Care*. 2020 [Epub ahead of print], doi: [10.1097/PEC.0000000000002028](https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002028), indexed in Pubmed: [32097378](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32097378/).
27. Szarpak L, Truszczyński Z, Gałzowski R, et al. Comparison of two chest compression techniques when using CBRN-PPE: a randomized crossover manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2016; 34(5): 913–915, doi: [10.1016/j.ajem.2016.02.029](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.02.029), indexed in Pubmed: [26947371](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26947371/).
28. Szarpak L, Truszczyński Z, Smereka J, et al. Comparison of two intravascular access techniques when using CBRN-PPE: A randomized crossover manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2016; 34(6): 1170–1172, doi: [10.1016/j.ajem.2016.03.046](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.03.046), indexed in Pubmed: [27066934](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27066934/).
29. Lamhaut L, Dagron C, Apriotesei R, et al. Comparison of intravenous and intraosseous access by pre-hospital medical emergency personnel with and without CBRN protective equipment. *Resuscitation*. 2010; 81(1): 65–68, doi: [10.1016/j.resuscitation.2009.09.011](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.09.011), indexed in Pubmed: [19854554](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19854554/).
30. Schumacher J, Arlidge J, Garnham F, et al. A randomised cross-over simulation study comparing the impact of chemical, biological, radiological or nuclear substance personal protection equipment on the performance of advanced life support interventions. *Anaesthesia*. 2017; 72(5): 592–597, doi: [10.1111/anae.13842](https://doi.org/10.1111/anae.13842), indexed in Pubmed: [28251618](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28251618/).
31. Castle N, Pillay Y, Spencer N. Comparison of six different intubation aids for use while wearing CBRN-PPE: a manikin study. *Resuscitation*. 2011; 82(12): 1548–1552, doi: [10.1016/j.resuscitation.2011.06.020](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.06.020), indexed in Pubmed: [21763057](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21763057/).
32. Tranberg T, Lassen JF, Kaltoft AK, et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest before and after introduction of a mechanical chest compression device, LUCAS-2; a prospective, observational study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2015; 23: 37, doi: [10.1186/s13049-015-0114-2](https://doi.org/10.1186/s13049-015-0114-2), indexed in Pubmed: [25898992](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25898992/).
33. Enriquez D, Firenze L, Fernández Díaz J, et al. Changes in the depth of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation in a pediatric simulator. *Arch Argent Pediatr*. 2018; 116(6): e730–e735, doi: [10.5546/aap.2018.eng.e730](https://doi.org/10.5546/aap.2018.eng.e730), indexed in Pubmed: [30457721](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30457721/).
34. Chen J, Lu KZ, Yi B, et al. Chest compression with personal protective equipment during cardiopulmonary resuscitation: a randomized crossover simulation study. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(14): e3262, doi: [10.1097/MD.0000000000003262](https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003262), indexed in Pubmed: [27057878](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27057878/).
35. Gates S, Quinn T, Deakin CD, et al. Mechanical chest compression for out of hospital cardiac arrest: Systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2015; 94: 91–97, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.07.002](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.002), indexed in Pubmed: [26190673](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26190673/).
36. Eichhorn S, Mendoza A, Prinzing A, et al. CorPuls CPR generates higher mean arterial pressure than LUCAS II in a pig model of cardiac arrest. *Biomed Res Int*. 2017; 2017: 5470406, doi: [10.1155/2017/5470406](https://doi.org/10.1155/2017/5470406), indexed in Pubmed: [29392137](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29392137/).
37. Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Stolz U, et al. Chest compression release velocity: Association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2015; 92: 107–114, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.04.026](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.026), indexed in Pubmed: [25936931](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25936931/).
38. Smereka J, Madziara M, Szarpak L. Comparison of two infant chest compression techniques during simulated newborn cardiopulmonary resuscitation performed by a single rescuer: A randomized, crossover multicenter trial. *Cardiol J*. 2019; 26(6): 761–768, doi: [10.5603/CJ.a2018.0090](https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0090), indexed in Pubmed: [30155866](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30155866/).
39. Kurowski A, Szarpak Ł, Bogdański Ł, et al. Comparison of the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation with standard manual chest compressions and the use of TrueCPR and PocketCPR feedback devices. *Kardiol Pol*. 2015; 73(10): 924–930, doi: [10.5603/KPa2015.0084](https://doi.org/10.5603/KPa2015.0084), indexed in Pubmed: [25985725](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25985725/).
40. Majer J, Jaguszewski MJ, Frass M, et al. Does the use of cardiopulmonary resuscitation feedback devices improve the quality of chest compressions performed by doctors? A prospective, randomized, cross-over simulation study. *Cardiol J*. 2019; 26(5): 529–535, doi: [10.5603/CJ.a2018.0091](https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0091), indexed in Pubmed: [30155865](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30155865/).
41. Lampe JW, Tai Y, Bratinov G, et al. Developing a kinematic understanding of chest compressions: the impact of depth and

- release time on blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Biomed Eng Online*. 2015; 14: 102, doi: [10.1186/s12938-015-0095-4](https://doi.org/10.1186/s12938-015-0095-4), indexed in Pubmed: [26537881](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26537881/).
42. Idris AH, Guffey D, Pepe PE, et al. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med*. 2015; 43(4): 840–848, doi: [10.1097/CCM.0000000000000824](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000824), indexed in Pubmed: [25565457](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25565457/).
43. Monsieurs KG, De Regge M, Vansteelandt K, et al. Excessive chest compression rate is associated with insufficient compression depth in prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2012; 83(11): 1319–1323, doi: [10.1016/j.resuscitation.2012.07.015](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.07.015), indexed in Pubmed: [22828356](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22828356/).
44. Smereka J, Iskrzycki Ł, Makomaska-Szaroszyk E, et al. The effect of chest compression frequency on the quality of resuscitation by lifeguards. A prospective randomized crossover multicenter simulation trial. *Cardiol J*. 2019; 26(6): 769–776, doi: [10.5603/CJ.a2018.0121](https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0121), indexed in Pubmed: [30338845](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30338845/).
45. Smereka J, Szarpak L, Czekajło M, et al. The TrueCPR device in the process of teaching cardiopulmonary resuscitation: A randomized simulation trial. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(27): e15995, doi: [10.1097/MD.00000000000015995](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015995), indexed in Pubmed: [31277091](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31277091/).
46. Truszcwski Z, Szarpak L, Kurowski A, et al. Randomized trial of the chest compressions effectiveness comparing 3 feedback CPR devices and standard basic life support by nurses. *Am J Emerg Med*. 2016; 34(3): 381–385, doi: [10.1016/j.ajem.2015.11.003](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.11.003), indexed in Pubmed: [26612703](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26612703/).
47. Iskrzycki L, Smereka J, Rodriguez-Nunez A, et al. The impact of the use of a CPRMeter monitor on quality of chest compressions: a prospective randomised trial, cross-simulation. *Kardiologia Pol*. 2018; 76(3): 574–579, doi: [10.5603/KPa.2017.0255](https://doi.org/10.5603/KPa.2017.0255), indexed in Pubmed: [29297195](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29297195/).
48. Wattenbarger S, Silver A, Hoyne T, et al. Real-Time cardiopulmonary resuscitation feedback and targeted training improve chest compression performance in a cohort of international health-care providers. *J Emerg Med*. 2019 [Epub ahead of print], doi: [10.1016/j.jemermed.2019.09.027](https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2019.09.027), indexed in Pubmed: [31708314](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31708314/).
49. Wagner M, Bibl K, Hrdliczka E, et al. Effects of feedback on chest compression quality: a randomized simulation study. *Pediatrics*. 2019; 143(2), doi: [10.1542/peds.2018-2441](https://doi.org/10.1542/peds.2018-2441), indexed in Pubmed: [30700565](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30700565/).
50. Szarpak L, Filipiak KJ, Ładny JR, et al. Should nurses use mechanical chest compression devices during CPR? *Am J Emerg Med*. 2016; 34(10): 2044–2045, doi: [10.1016/j.ajem.2016.07.057](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.07.057), indexed in Pubmed: [27528048](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27528048/).
51. Truszcwski Z, Szarpak L, Kurowski A, et al. Mechanical chest compression with the LifeLine ARM device during simulated CPR. *Am J Emerg Med*. 2016; 34(5): 917, doi: [10.1016/j.ajem.2016.02.025](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.02.025), indexed in Pubmed: [26924321](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26924321/).
52. Abellsson A. Learning through simulation. *Disaster Emerg Med J*. 2017; 2(3): 125–128, doi: [10.5603/demj.2017.0027](https://doi.org/10.5603/demj.2017.0027).
53. Adamczuk J, Nieckula M, Dabrowska A, et al. Recommendations for the use of simulation methods in a selected area of health sciences based on an example simulation scenario. *Disaster Emerg Med J*. 2019; 4(4): 173–179, doi: [10.5603/demj.a2019.0031](https://doi.org/10.5603/demj.a2019.0031).

Supplementary table 1. Level of significance comparing of two-sided test of research chest compression parameters for different chest compression methods

Chest compression depth			
	Manual CC	CPRMeter	LifeLine ARM
Manual CC	---	0.031	<0.001
CPRMeter	0.031	---	0.002
LifeLine ARM	<0.001	0.002	---
Chest compression rate			
	Manual CC	CPRMeter	LifeLine ARM
Manual CC	---	0.047	0.001
CPRMeter	0.047	---	0.006
LifeLine ARM	0.001	0.006	---
Correct chest recoil			
	Manual CC	CPRMeter	LifeLine ARM
Manual CC	---	<0.001	<0.001
CPRMeter	<0.001	---	<0.001
LifeLine ARM	<0.001	<0.001	---
Subjective fatigue score			
	Manual CC	CPRMeter	LifeLine ARM
Manual CC	---	<0.001	<0.001
CPRMeter	<0.001	---	<0.001
LifeLine ARM	<0.001	<0.001	---

This is a provisional PDF only. Copyedited and fully formatted version will be made available soon.

An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study

Authors: Marek Małysz, Jacek Smereka, Miłosz Jaguszewski, Marek Dąbrowski, Klaudiusz Nadolny, Kurt Ruetzler, Jerzy R. Ładny, Maciej Sterliński, Krzysztof J. Filipiak, Łukasz Szarpak

Article type: Original article

Received: August 28, 2020.

Accepted: October 9, 2020.

Published online: October 12, 2020.

ISSN: 0022-9032

e-ISSN: 1897-4279

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives 4.0 International License ([CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)), allowing third parties to download articles and share them with others, provided the original work is properly cited, not changed in any way, distributed under the same license, and used for noncommercial purposes only. For commercial use, please contact the journal office at kardiologiapolska@ptkardio.pl.

An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study

Marek Małyś¹, Jacek Smereka^{1,2}, Miłosz Jaguszewski³, Marek Dąbrowski^{1,4}, Klaudiusz Nadolny^{5,6}, Kurt Ruetzler⁷, Jerzy R. Ładny^{1,8}, Maciej Sterliński⁹, Krzysztof J. Filipiak¹⁰, Łukasz Szarpak^{1,11,12}

¹ Polish Society of Disaster Medicine, Warsaw, Poland

² Department of Emergency Medical Service, Wrocław Medical University, Wrocław, Poland

³ First Department of Cardiology, Medical University of Gdańsk, Gdańsk, Poland

⁴ Chair and Department of Medical Education, Poznań University of Medical Sciences, Poznań, Poland

⁵ Department of Emergency Medical Service, Higher School of Strategic Planning in Dąbrowa Górnicza, Dąbrowa Górnicza, Poland

⁶ Faculty of Medicine, Katowice School of Technology, Katowice, Poland

⁷ Departments of General Anesthesiology and Outcomes Research, Anesthesiology Institute, Cleveland Clinic, Cleveland, OH, USA

⁸ Department of Emergency Medicine, Medical University of Białystok, Białystok, Poland

⁹ 1st Department of Heart Arrhythmia National Institute of Cardiology, Warsaw, Poland

¹⁰ First Chair and Department of Cardiology, Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland

¹¹ Białystok Oncology Center, Białystok, Poland

¹² Maria Skłodowska-Curie Medical Academy in Warsaw, Warsaw, Poland

Short title: COVID-19 patient resuscitation

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Corresponding author:

Klaudiusz Nadolny PhD

Faculty of Medicine, Katowice School of Technology, Katowice, Poland

Rolna 43, 40-555 Katowice, Poland

mail: knadolny@wpr.pl , phone +48 513 082 398

ABSTRACT

Background: Cardiopulmonary resuscitation (CPR) with the use of personal protective equipment (PPE) for aerosol generating procedures (AGP) in patients with suspected/confirmed COVID-19 remains challenging.

Aim: The aim of this study was to compare three chest compression methods applied by paramedics wearing PPE.

Methods: The single-blinded, multi-centre, randomized, cross-over simulation study involved 67 paramedics wearing PPE AGP. They performed 2-minute continuous chest compressions (CCs) in an adult patient with suspected/confirmed COVID-19 in three scenarios: (a) manual CCs; (b) CCs with a TrueCPR feedback device; (c) CCs with a LUCAS3 mechanical CC device.

Results: CC depth when using LUCAS3 compared with TrueCPR and manual CC was more frequently correct 51 [50–55] vs. 47 [43–52] vs. 43 [38–46]mm; $P = 0.005$) and more often performed correctly regarding CC rate 102 [100–102] vs. 105 [98–111] vs. 116 [112–129] compressions per minute; $P = 0.027$) and chest recoil 100 [98–100] vs. 83 [60–92] vs. 39 [25–50]%; $P = 0.001$). A detailed analysis of 2-minute resuscitation with manual CCs showed a decrease in compression depth and full chest recoil after 1 minute of CCs.

Conclusion: We show that during simulated resuscitation with the use of PPE AGP in patients with suspected/confirmed COVID-19, CC with LUCAS3 compared with manual CCs as well as a TrueCPR feedback device essentially increased CC quality. In the case of manual CCs by paramedics dressed in PPE AGP, it is advisable to change the person performing CC every minute.

Keywords: cardiopulmonary resuscitation; chest compression; COVID-19; paramedic.

WHAT'S NEW?

This is the first study to compare manual chest compressions in a patient with suspected/confirmed COVID-19 with chest compressions performed with a TrueCPR feedback device, as well as with a LUCAS3 device among paramedics wearing personal protective equipment (PPE) for aerosol generating procedures (AGP). It is worth remembering that during the current SARS-CoV-2 pandemic, there is a large number of patients infected or suspected of being infected with SARS-CoV-2. In the case of manual CCs by paramedics dressed in PPE AGP, it is advisable to change the person performing CC every minute.

1. INTRODUCTION

The world, especially emergency medicine, faces the challenge of fighting the SARS-CoV-2 coronavirus pandemic [1,2]. The transmission of SARS-CoV-2 is thought to occur mainly through respiratory droplets generated by coughing and sneezing, and through direct contact with contaminated surfaces [3,4]. In view of the above, full personal protective equipment (PPE) for aerosol generating procedures (AGP) must be worn by all members of the emergency medical service team before entering the room [5,6]. There is limited evidence from observational studies showing a protective effect of up to 80% of masks and N95 respirators used by healthcare workers for SARS-CoV viruses [7]. FFP3 respirators should be worn for airborne precautions. In addition, paramedics should also have a visor covering their entire face.

In the case of cardiac arrest, immediate commencing of resuscitation improves survival [8]. High-quality chest compressions are also of paramount importance for survival and good neurological outcome [9,10]. Unfortunately, even medical personnel often perform chest compressions without achieving the appropriate parameters specified in the guidelines of the European Resuscitation Council [11] or the American Heart Association [12]. Numerous simulation studies often indicate too shallow chest compressions, too fast compression rate, as well as incomplete chest relaxation [13]. No chest compressions or airway procedures such as those detailed below should be undertaken without full PPE AGP. The medical personnel should wear the above equipment before starting intervention in patients with suspected/confirmed COVID-19 [3]. However, the use of PPE AGP may make it difficult to perform cardiopulmonary resuscitation (CPR). Therefore, it is advisable to look for alternative methods of chest compressions, which will increase their effectiveness in such patients.

In this context, the objective of this study was to compare three chest compression methods applied by paramedics wearing PPE in simulated COVID-19 patient resuscitation: a) the manual method, b) that with a TrueCPR feedback device, and c) that with a LUCAS3 device.

2. METHODS

2.1. Setting

Overall, 67 paramedics with no previous resuscitation experience in PPE usage were enrolled. All participants signed a voluntary written informed consent prior to the study. Before the evaluation, they were trained by certified instructors in advanced cardiovascular life support on the usage of the LUCAS3 device, TrueCPR feedback device, as well as conventional manual CPR in accordance with the American Heart Association 2015 guidelines [12] for 30 minutes. The study was approved by the Institutional Review Board of the Polish Society of Disaster Medicine (approval No. 04.01.2020.IRB).

2.2. Study design

This is a prospective, randomized, cross-over simulation study, carried out at the Medical Simulation Centre of Poznan University of Medical Sciences and Lazarski University in Warsaw. On the next day after training, a standardized cardiac arrest scenario was presented to the participants: ‘You are a member of an emergency medical team and you provide medical assistance to a person quarantined because of a SARS-CoV-2 infection. When you collect the medical history, the patient loses consciousness. The examination shows no pulse or breath. Your colleague performs endotracheal intubation. You need to apply a 2-minute continuous chest compression cycle’.

During the CPR, the paramedics wore a Tychem F chemical-resistant suit, providing protection against organic and inorganic chemicals in high concentrations and against

particles below 1 μm in diameter (DuPont Personal Protection, Luxemburg). The suit also protects against biological hazards and against chemical weapon. In order to simulate real actions with the SARS-CoV-2 patient, the paramedics wore a protective mask with FFP1 filter (3M™ Aura™ Disposable Respirator, FFP1, Valved, 9312+, 3M Inc., Bracknell, United Kingdom) protective goggles (MedaSEPT®, Poznan, Poland), a visor, as well as double nitrile gloves (see **Figure 1**). The participants were tested individually.

In the study, the following methods of chest compressions were tested:

1. manual chest compressions;
2. chest compressions with the use of a TrueCPR feedback device (Physio-Control, Redmond, WA, USA);
3. chest compressions with a LUCAS3 mechanical chest compression system (Physio-Control Inc., Lund, Sweden).

A Resusci Anne manikin (Laerdal, Stavanger, Norway) was used to simulate a patient infected with SARS-CoV-2 requiring CPR. Chest compressions were performed continuously for 2 minutes. Both the order of participants and chest compression methods were random. For this purpose, the Research Randomizer (randomizer.org) was used. The paramedics were divided into three groups: first group start CCs with manual chest compressions, second using the TrueCPR feedback device, and third applying the LUCAS3 system. After a 2-minute CPR cycle, the participants had a 1-hour break and then performed CPR by using a different technique. Finally, each participant performed CCs using distinct compression methods. A detailed randomization procedure is shown in **Figure 2**.

2.3. Data collection

Chest compression parameters were assessed with the LLEAP simulation software (Laerdal, Stavanger, Norway) connected to the manikin and included: (1) chest compression depth, (2)

chest compression rate, (3) percentage of compressions with correct hand positioning, (4) percentage of full chest recoil.

Additionally, the parameters were recorded in real time with a GoPro Hero 5 Black camera (GoPro, Inc., California, United States of America), which allowed to register chest compression parameters and analyse them in 20-second intervals. Goals were set in accordance with the 2015 quality standard established by the European Resuscitation Council: depth of 50–60 mm, rate of 100–120 compressions per minute (CPM).

Following the completion of a scenario, the participants were asked to grade each chest compression method on the basis of their fatigue (1 = no fatigue, 100 = extreme fatigue) in the relevant scenario, but they were discouraged from overall ranking the devices. The demographic data collected included the paramedics' age, gender, and work experience in emergency medicine.

2.4. Statistical analysis

The data were blinded for the team interpreting the results. All participant and chest compression parameters were summarized descriptively. Data were analysed by using the Statistica version 13.3EN software (Tibco Inc, Tulsa, Oklahoma, United States of America). The occurrence of normal distribution was confirmed by the Kolmogorov-Smirnov test. Categorical data are presented as raw numbers and frequencies, and continuous and ordinal data are presented as medians and interquartile ranges (IQR). The Friedman test was used for the intra-group analysis, and the Wilcoxon signed-rank test for the pairwise comparison. A p value less than 0.05 was considered statistically significant and the significance level was adjusted using the Bonferroni correction for multiple comparisons for the post hoc analysis. The median changes during 20-second epochs were tested using the Wilcoxon signed rank test.

3. RESULTS

A total of 67 paramedics (25 females, 37.3%) participated in the study. Their median age was 30 (IQR, 27-33) years, and mean work experience time was 4.1 (IQR, 2-7) years.

3.1. Chest compression quality

The chest compression depth when using different chest compression methods varied and equalled 43 mm (IQR: 38–46) vs. 47 mm (IQR: 43–52) vs. 51 mm (IQR: 50–55) ($P = 0.005$, see **Table 1**) for manual chest compressions, TrueCPR, and LUCAS3, respectively. There was a difference between the compressions with LUCAS3 and manual compressions ($P < 0.001$), as well as between compressions with LUCAS3 and with TrueCPR ($P = 0.021$). The chest compression rate was 116 (IQR: 112–129) CPM for the manual method, 105 (IQR: 98–114) CPM with TrueCPR and 102 (IQR: 100–102) CPM with LUCAS3 ($P = 0.027$). Moreover, significant differences between manual chest compressions and the use of LUCAS3 were noted ($P < 0.001$).

The percentage of correct chest recoil with manual chest compressions was 39% (IQR: 25–50), 83% (IQR: 60–92) for TrueCPR and 100% (IQR: 98–100) for LUCAS3. The analysis showed differences in correct chest recoil between manual compressions and TrueCPR ($P < 0.001$), manual compressions and LUCAS3 ($P < 0.001$), as well as TrueCPR and LUCAS3 ($P = 0.033$).

The correct hand placement was comparable in the examined chest compression techniques and equalled 100% (IQR: 90–100) for manual compressions, 100% (IQR: 93–100) for TrueCPR, and 100% (IQR: 95–100) for LUCAS3.

The analysis at 20-second intervals showed a statistically significant decrease in chest compression depth in the manual method (see **Figure 3**). When TrueCPR was used during CPR, a significant reduction in chest compression depth was observed from 80 seconds

onwards. The analysis of the data for 20-second time periods showed no differences when using LUCAS3. However, differences in the rate of chest compressions during the 2-minute chest compression period were observed in manual compressions and the TrueCPR method (see **Figure 4**). The percentage of correctly performed chest recoil was the lowest for the manual method and decreased over time as the chest compressions were performed, starting from the first minute of compressions (see **Figure 5**).

3.2. Subjective rescuer fatigue

All participants completed all three 2-minute continuous resuscitation sessions. Self-reported levels of fatigue for each chest compression method are presented in **Table 2**.

4. DISCUSSION

To our best knowledge, this is the first study to compare manual chest compressions in a patient with suspected/confirmed COVID-19 with chest compressions performed with a TrueCPR feedback device, as well as with a LUCAS3 device among paramedics wearing PPE AGP. It is worth remembering that during the current SARS-CoV-2 pandemic, there is a large number of patients infected or suspected of being infected with SARS-CoV-2.

For safety reasons, both for the rescuers themselves and for the patients requiring chest compressions or airway procedures, CPR should be undertaken with full PPE AGP. As indicated by Li et al. [14], the population most at risk may be people with poor immune function, such as the elderly and those with renal or hepatic dysfunction. Mortality is highest in the group over 60 years of age. This is due to the coexistence of associated diseases. Many times, in a patient infected with SARS-CoV-2, sudden cardiac arrest occurs for a completely different reason, and undertaking CPR may cause return of spontaneous circulation.

The ability to perform high quality CPR is an important element of the management of patients with sudden cardiac arrest, directly affecting survival and reducing neurological losses [15,16]. The algorithms to be applied by the medical personnel are the guidelines of the European Resuscitation Council [11] or the American Heart Association [12], following the principles of evidence-based medicine. According to the above guidelines, chest compressions should be carried out with the following parameters: depth of compressions: 5–6 cm, rate of chest compressions: 100–120 CPM. In addition, full chest relaxation should be performed, as well as interruptions in chest compressions should be minimized [12].

In this study, we prospectively assessed differences in chest compression (CC) methods applied by paramedics wearing PPE AGP in simulated COVID-19 patient resuscitation. During simulated resuscitation CC with LUCAS3 compared with manual CCs as well as a TrueCPR feedback device essentially increased CC quality. We indicated, for instance, that the depth of chest compressions in the case of the manual technique is insufficient. This result is consistent with other studies and applies to paramedics, physicians, and nurses [17,18]. Moreover, it was shown that the depth of chest compressions performed by paramedics dressed in PPE AGP was significantly reduced after the first minute of intervention.

Taking into account the CPR guidelines with regard to changes of rescuers in 2-minute cycles [19,20], it is reasonable to consider introducing, in the CPR algorithms for suspected/confirmed COVID-19 patients, a reduction of a CPR cycle duration from 2 to 1 minute, especially since Kılıç et al. [21] stated that there was no difference in the quality measures of chest compressions between 1- and 2-minute cycles in a normal (without PPE AGP) scenario.

Another important factor influencing the quality of chest compressions is the compression rate [22,23]. In our study, the participants performed compressions with the correct rate;

however, the parameter differed between the methods studied. The most constant rate was observed for the LUCAS3 device, and the rate with manual compressions was the fastest. The guidelines recommend chest compressions with a rate of 100–120 CPM. As AHA and ERC indicated there is a positive correlation between number of compressions delivered per minute and success of resuscitation, and rates of 120/min or higher or less than 100/min being associated with a decreased likelihood of survival. Also, studies by Idris et al. [24] confirm that compression rates of 100–120 CPM are associated with greatest survival to hospital discharge. As revealed by Chen et al. [25], the use of PPE may reduce the rate of chest compressions. A compression rate higher than 120 CPM may improve organ perfusion but does not increase survival to hospital discharge. In turn, it may lead to faster fatigue of the rescuer, which in consequence results in lower quality of chest compressions [26,27].

Full chest recoil also shows significant effects on improved survival and favourable neurologic outcome [28]. Full chest relaxation combined with chest compressions at an appropriate depth are essential for optimal perfusion pressure [29,30]. Lee et al. [31] show significantly more incomplete chest recoils at the rate of over 120 CPM than at any other rate. In the study, the percentage of full chest recoil was insufficient for manual compressions. Many studies indicate that the use of CPR feedback devices can improve chest compression quality [32-35]. Buléon et al. [17] demonstrated that a real-time feedback device provided longer, effective, steadier chest compressions over time; however, as the presented study has revealed, the depth parameters of chest compressions using the device were higher than those of manual compressions, but still insufficient in relation to the current CPR guidelines [19,36].

This may be due to excessive fatigue of rescuers. This seems to be confirmed by Rodríguez et al. [37], who evidenced that CPR while wearing level D PPE required intensive physical effort. Nowadays, more and more emergency teams are equipped with mechanical chest

compression systems that allow for high-quality chest compressions, also when an ambulance moves to a hospital [38]. It is noteworthy that automatic chest compression devices are not recommended for routine use during resuscitation [39]. However, it should be assumed that resuscitation of patients with suspected/confirmed COVID-19 is not a routine action, and the PPE AGP used by rescuers reduces the motoric capacity and affects the rescuer's overheating and fatigue [40-42].

5. LIMITATIONS

The study has both limitations and strengths. First and foremost, we can mention conducting the study under simulated CPR rather than real resuscitation, but this choice of the test method was deliberate and dictated by the fact that medical simulation allows for full standardization of medical procedures performed [43,44], and the current epidemic situation related to SARS-CoV-2 does not allow to conduct this type of tests because they could prolong the time of the performed procedures and expose the patient's and paramedic's health to harm [45]. The second limitation is to include only paramedics; however, it is this professional group that may realistically face the situation of having to undertake CPR, including in a patient with suspected/confirmed COVID-19. The paramedics themselves, in pre-hospital conditions, can only count on their skills and equipment available in the ambulance. A third limitation concerns the participation in the study of paramedics who had no previous experience of performing CPR in a PPE-AGP, however, such an action was deliberate. The current pandemic situation has put medical personnel facing a global threat and the need to use PPE-AGP. Most of the medical personnel (both in hospital and prehospital setting) were not concerned with the use of PPE-AGP. In view of the above, it was decided to select paramedics for the study, who constitute a specific first line of contact with patients with OHCA. The strengths of the study should also be indicated and may

include the fact that this was a multi-centre randomized cross-over study. Moreover, it was the first study to evaluate the resuscitation capacities of paramedics dressed in PPE AGP.

6. CONCLUSIONS

During resuscitation in simulated patients with suspected/confirmed COVID-19 performed by paramedics wearing PPE AGP, chest compression with LUCAS3 compared with the manual method as well as a TrueCPR feedback device increased the compression quality. In the case of manual chest compressions performed by paramedics dressed in PPE AGP, it is advisable to change the rescuer every 1 minute.

CONTRIBUTION STATEMENTS

All authors confirm that they had full access to data, contributed to drafting the paper, analyzed the data, edited the paper and approved the final version of the manuscript. MM and ŁSZ designed and coordinated the study.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all paramedics who participated in this study. The study was supported by the ERC Research Net and by the Polish Society of Disaster Medicine.

References:

1. Dzieciatkowski T, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. COVID-19 challenge for modern medicine. *Cardiol J*. 2020; 27: 175-183.
2. Ruetzler K, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. The COVID-19 pandemic — a view of the current state of the problem. *Disaster Emerg Med J*. 2020; 5: 106-107.
3. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. 2020.
4. Szarpak L, Smereka J, Filipiak KJ, Ladny JR, Jaguszewski M. Cloth masks versus medical masks for COVID-19 protection. *Cardiol J*. 2020; 27: 218-219.
5. Giwa AL, Desai A, Duca A. Novel 2019 coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19): an updated overview for emergency clinicians. *Emerg Med Pract*. 2020; 22: 1-28.
6. Smereka J, Szarpak L. COVID 19 a challenge for emergency medicine and every health care professional. *Am J Emerg Med* 2020. [epub ahead of print].
7. Offeddu V, Yung CF, Low MSF, et al. Effectiveness of masks and respirators against respiratory infections in healthcare workers: a systematic review and meta-analysis. *Clin Infect Dis*. 2017; 65: 1934-1942.
8. Brooks SC, Schmicker RH, Cheskes S, et al. Variability in the initiation of resuscitation attempts by emergency medical services personnel during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2017; 117: 102-108.
9. Zalewski R, Przymuszala P, Klosiewicz T, et al. The effectiveness of ‘practice while watching’ technique for the first aid training of the chemical industry employees. *Disaster Emerg Med J*. 2019; 4: 83-91.

10. Kaminska H, Wieczorek W, Matusik P, et al. Factors influencing high-quality chest compressions during cardiopulmonary resuscitation scenario, according to 2015 American Heart Association Guidelines. *Kardiol Pol.* 2018; 642-647.
11. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation.* 2015; 95: 100-147.
12. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult advanced cardiovascular life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation.* 2015; 132: S444-S464.
13. Wang PL, Brooks SC. Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018; 8: CD007260.
14. Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med.* 2020. [epub ahead of print].
15. Sugiyama A, Duval S, Nakamura Y, et al. Impedance threshold device combined with high-quality cardiopulmonary resuscitation improves survival with favorable neurological function after witnessed out-of-hospital cardiac arrest. *Circ J.* 2016; 80: 2124-2132.
16. Nolan JP. High-quality cardiopulmonary resuscitation. *Curr Opin Crit Care.* 2014; 20: 227-233.
17. Buléon C, Delaunay J, Parienti JJ, et al. Impact of a feedback device on chest compression quality during extended manikin CPR: a randomized crossover study. *Am J Emerg Med.* 2016; 34: 1754-1760.
18. Smereka J, Madziala M, Szarpak L. Comparison of two infant chest compression techniques during simulated newborn cardiopulmonary resuscitation performed by a single rescuer: a randomized, crossover multicenter trial. *Cardiol J.* 2019; 26: 761-768.

19. Kleinman ME, Brennan EE, Goldberger ZD, et al. Part 5: Adult basic life support and cardiopulmonary resuscitation quality: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2015; 132: S414-S435.
20. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, et al. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation*. 2015; 95: 81-99.
21. Kılıç D, Göksu E, Kılıç T, et al. Resuscitation quality of rotating chest compression providers at one-minute vs. two-minute intervals: a mannequin study. *Am J Emerg Med*. 2018; 36: 829-833.
22. Szarpak L, Truszewski Z, Czyzewski L, et al. CPR using the lifeline ARM mechanical chest compression device: a randomized, crossover, manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2017; 35: 96-100.
23. Smereka J, Kaminska H, Wieczorek W, et al. Which position should we take during newborn resuscitation? A prospective, randomised, multicentre simulation trial. *Kardiol Pol*. 2018: 980-986.
24. Idris AH, Guffey D, Pepe PE, et al. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med*. 2015; 43: 840-848.
25. Chen J, Lu KZ, Yi B, et al. Chest compression with personal protective equipment during cardiopulmonary resuscitation: a randomized crossover simulation study. *Medicine*. 2016; 95: e3262.
26. Monsieurs KG, De Regge M, Vansteelandt K, et al. Excessive chest compression rate is associated with insufficient compression depth in prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2012; 83: 1319-1323.

27. Smereka J, Iskrzycki Ł, Makomaska-Szaroszyk E, et al. The effect of chest compression frequency on the quality of resuscitation by lifeguards. A prospective randomized crossover multicenter simulation trial. *Cardiol J.* 2019; 26: 769-776.
28. Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Stolz U, et al. Chest compression release velocity: association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation.* 2015; 92: 107-114.
29. Smereka J, Szarpak L, Ladny JR, et al. A novel method of newborn chest compression: a randomized crossover simulation study. *Front Pediatr.* 2018; 6: 159.
30. Smereka J, Szarpak L, Rodríguez-Núñez A, et al. A randomized comparison of three chest compression techniques and associated hemodynamic effect during infant CPR: a randomized manikin study. *Am J Emerg Med.* 2017; 35: 1420-1425.
31. Lee SH, Kim K, Lee JH. Does the quality of chest compressions deteriorate when the chest compression rate is above 120/min? *Emerg Med J.* 2014; 31: 645-648.
32. Smereka J, Szarpak L, Czekajlo M, et al. The TrueCPR device in the process of teaching cardiopulmonary resuscitation: a randomized simulation trial. *Medicine.* 2019; 98: e15995.
33. Lin Y, Cheng A, Grant VJ, et al. Improving CPR quality with distributed practice and real-time feedback in pediatric healthcare providers – a randomized controlled trial. *Resuscitation.* 2018; 130: 6-12.
34. Majer J, Jaguszewski MJ, Frass M, et al. Does the use of cardiopulmonary resuscitation feedback devices improve the quality of chest compressions performed by doctors? A prospective, randomized, cross-over simulation study. *Cardiol J.* 2019; 26: 529-535.
35. Wiecek W, Smereka J, Ladny JR, et al. The impact of a CPRezy™ feedback device on the quality of chest compressions performed by nurses. *Am J Emerg Med.* 2018; 36: 1318-1319.

36. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L, et al. European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation*. 2020 Aug; 153: 45-55. [Epub ahead of print].
37. Martín Rodríguez F, Fernández Pérez C, Castro Villamor M, et al. Does level D personal protective equipment guard against hazardous biologic agents during cardiopulmonary resuscitation? *Emergencias*. 2018; 30: 119-122.
38. Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, et al. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J*. 2020 May 18. [Epub ahead of print].
39. Neumar RW, Shuster M, Callaway CW, et al. Part 1: Executive summary: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2015; 132: S315-S367.
40. Kako M, Hammad K, Mitani S, et al. Existing approaches to chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) education and training for health professionals: findings from an integrative literature review. *Prehosp Disaster Med*. 2018; 33: 182-190.
41. Udayasiri R, Knott J, McD Taylor D, et al. Emergency department staff can effectively resuscitate in level C personal protective equipment. *Emerg Med Australas*. 2007; 19: 113-121.
42. Castle N, Owen R, Hann M, et al. Impact of chemical, biological, radiation, and nuclear personal protective equipment on the performance of low- and high-dexterity airway and vascular access skills. *Resuscitation*. 2009; 80: 1290-1295.
43. Abellsson A. Learning through simulation. *Disaster Emerg Med J*. 2017; 2: 125-128.

44. Smereka J, Bielski K, Ladny JR, et al. Evaluation of a newly developed infant chest compression technique: a randomized crossover manikin trial. *Medicine*. 2017; 96: e5915.
45. Sokolowski M, Sokolowska JM, Zymliński R, et al. Cardiac emergencies during the COVID-19 pandemic in the light of the current evidence *Kardiol Pol* 2020. [Epub ahead of print].

Table 1. Data from 2-minute chest compression scenarios. Parameters are shown as a median form the 2-minute period.

Parameter	Chest compression technique			P-value	Wilcoxon signed-rank test		
	Manual CC (A)	TrueCPR (B)	LUCAS3 (C)		A vs. B	A vs. C	B vs. C
Chest compression depth	43 (38-46)	47 (43-52)	51 (50-55)	0.005	0.328	0.001	0.451
Chest compression rate	116 (112-129)	105 (98-114)	102 (100-102)	0.027	0.097	0.001	0.211
Correct chest recoil	39 (25-50)	83 (60-92)	100 (98-100)	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Correct hand placement	100 (90-100)	100 (93-100)	100 (95-100)	0.225	0.977	0.891	0.772

Abbreviations: CC, Chest Compressions; CPR, Cardiopulmonary resuscitation.

Table 2. Level of fatigue during each trial based on a Linkert scale rating.

Parameter	Chest compression technique			<i>P</i> -Value	<i>Wilcoxon signed-rank test</i>		
	Manual CC (A)	TrueCPR (B)	LUCAS3 (C)		A vs. B	A vs. C	B vs. C
Participants' perception of fatigue (1-100)	70 (50-86)	70 (45-82)	17 (10-20)	0.001	0.724	<0.001	<0.001

Abbreviations — see Table/Figure 1

Table 3. Level of fatigue during each trial based on a Linkert scale rating.

	Manual CC	TrueCPR	LUCAS3	<i>P</i>-Value
Participants’ perception of fatigue (1-100)	70 (50-86)	70 (45-82)	17 (10-20)	0.001

Abbreviations — see Table/Figure 1



Figure 1. Paramedic wearing protective equipment for aerosol generating procedures.

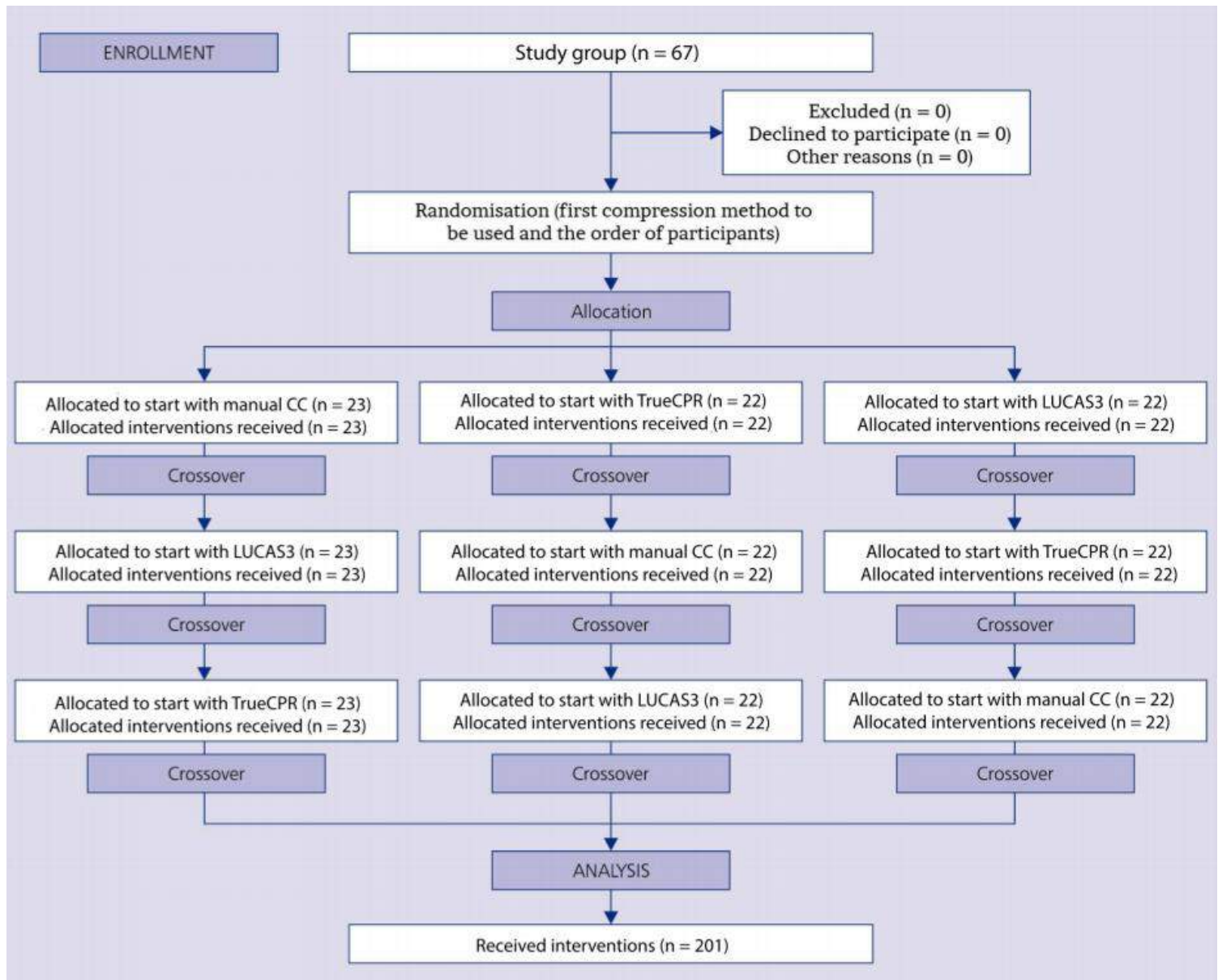


Figure 2. Study flow chart.

Figure 3.



Figure 3. Chest compression depth in 20-sec intervals.

Figure 4.



Figure 4. Chest compression rate in 20-sec intervals.

Figure 5.



Figure 5. Percentage of correct chest recoil in 20-sec intervals.



CONSORT 2010 checklist of information to include when reporting a randomised trial*

Section/Topic	Item No	Checklist item	Reported on the page No
Title and abstract			
	1a	Identification as a randomised trial in the title	1
	1b	Structured summary of trial design, methods, results, and conclusions (for specific guidance see CONSORT for abstracts)	3, 4
Introduction			
Background and objectives	2a	Scientific background and explanation of the rationale	5
	2b	Specific objectives or hypotheses	6, 7
Methods			
Trial design	3a	Description of trial design (such as parallel, factorial) including allocation ratio	6, 7
	3b	Important changes to methods after trial commencement (such as eligibility criteria), with reasons	6, 7
Participants	4a	Eligibility criteria for participants	6, 7
	4b	Settings and locations where the data were collected	6, 7
Interventions	5	The interventions for each group with sufficient details to allow replication, including how and when they were administered	6, 7
Outcomes	6a	Completely defined pre-specified primary and secondary outcome measures, including how and when they were assessed	8
	6b	Any changes to trial outcomes after the trial commenced, with reasons	9
Sample size	7a	How sample size was determined	9
	7b	When applicable, explanation of any interim analyses and stopping guidelines	
Randomisation:			8
Sequence generation	8a	The method used to generate the random allocation sequence	8
	8b	Type of randomisation; details of any restriction (such as blocking and block size)	8
Allocation concealment mechanism	9	The mechanism used to implement the random allocation sequence (such as sequentially numbered containers), describing any steps taken to conceal the sequence until interventions were assigned	8
Implementation	10	Who generated the random allocation sequence, who enrolled participants, and who assigned participants to interventions	8

Blinding	11a	If done, who was blinded after assignment to interventions (for example, participants, care providers, those assessing outcomes) and how	9
	11b	If relevant, a description of the similarity of interventions	9
Statistical methods	12a	Statistical methods used to compare groups for primary and secondary outcomes	9
	12b	Methods for additional analyses, such as subgroup analyses and adjusted analyses	9
Results			
Participant flow (a diagram is strongly recommended)	13a	For each group, the numbers of participants who were randomly assigned received intended treatment and were analysed for the primary outcome	10
	13b	For each group, losses and exclusions after randomisation, together with reasons	10
Recruitment	14a	Dates defining the periods of recruitment and follow-up	10
	14b	Why the trial ended or was stopped	10
Baseline data	15	A table showing baseline demographic and clinical characteristics for each group	10
Numbers analysed	16	For each group, number of participants (denominator) included in each analysis and whether the analysis was by original assigned groups	10
Outcomes and estimation	17a	For each primary and secondary outcome, results for each group, and the estimated effect size and its precision (such as 95% confidence interval)	10
	17b	For binary outcomes, the presentation of both absolute and relative effect sizes is recommended	10
Ancillary analyses	18	Results of any other analyses performed, including subgroup analyses and adjusted analyses, distinguishing prespecified from exploratory	10
Harms	19	All important harms or unintended effects in each group (for specific guidance see CONSORT for harms)	10
Discussion			
Limitations	20	Trial limitations, addressing sources of potential bias, imprecision, and, if relevant, a multiplicity of analyses	13, 14
Generalisability	21	Generalisability (external validity, applicability) of the trial findings	12, 14
Interpretation	22	Interpretation consistent with results, balancing benefits and harms, and considering other relevant evidence	11–13
Other information			
Registration	23	Registration number and name of trial registry	—
Protocol	24	Where the full trial protocol can be accessed, if available	—
Funding	25	Sources of funding and other support (such as supply of drugs), the role of funders	20

*We strongly recommend reading this statement in conjunction with the CONSORT 2010 Explanation and Elaboration for important clarifications on all the items. If relevant, we also recommend reading CONSORT extensions for cluster randomised trials, non-inferiority and equivalence trials, non-pharmacological treatments, herbal interventions, and pragmatic trials. Additional extensions are forthcoming; for those and for up to date references relevant to this checklist, see www.consort-statement.org.

COMPARISON OF DIFFERENT CHEST COMPRESSION POSITIONS FOR USE WHILE WEARING CBRN-PPE: A RANDOMIZED CROSSOVER SIMULATION TRIAL

Marek Malysz^{1,2}, Miłosz Jarosław Jaguszewski³, Łukasz Szarpak^{1,4,5}, Dominika Telecka-Gadek^{1,6}, Karol Bielski^{1,2}, Agata Dąbrowska^{1,7}, Jacek Smereka^{1,8}, Krzysztof Jerzy Filipiak⁹

¹ Polish Society of Disaster Medicine, Warsaw, Poland

² Voivodeship Emergency Ambulance Service and Sanitary Transport “MEDITRANS”, Warsaw, Poland

³ First Department of Cardiology, Medical University of Gdańsk, Poland

⁴ Białystok Oncology Center, Białystok, Poland

⁵ Maria Skłodowska-Curie Medical Academy, Warsaw, Poland

⁶ Department of Emergency Medicine, Medical University of Warsaw, Poland

⁷ Department of Emergency Medical Service, Poznań University of Medical Sciences, Poznań, Poland

⁸ Department of Emergency Medical Service, Wrocław Medical University, Wrocław, Poland

⁹ First Chair and Department of Cardiology, Medical University of Warsaw, Poland

ABSTRACT

INTRODUCTION: The prevailing COVID-19 pandemic forces paramedics to take medical rescue operations using personal protective equipment (PPE) for aerosol-generating procedures (AGP). The use of PPE-AGP may reduce the effectiveness of the procedures performed, including airway management, intravascular access, or chest compression.

The goal of the current study was to compare the quality by which a chest compression during simulated COVID-19 resuscitation while wearing PPE-AGP. A secondary goal was to assess provider preferences with standard versus OHD chest compression methods while wearing PPE-AGP.

METHODS: This is a randomized cross-over single-blinded study involving 37 paramedics performing 2-min continuous chest compression using two methods: the standard chest compression (CC) method during which the rescuer takes a position to the side of the victim (STD) and over-the-head position (OHD). During cardiopulmonary resuscitation, study participants wore Class C PPE-AGP. Both the order of study participants and compression methods were random. The results were blinded before statistical analysis. The compression rate per minute (CPM), CC depth as well as full chest recoil were measured. The analysis was undertaken using STATISTICA (V13.3EN).

RESULTS: Mean chest compression depth using distinct CC methods varied and amounted to 42 ± 2 mm for STD vs. 46 ± 4 mm for OHD ($p < 0.001$). Chest compressions based on the OHD method were associated with a lower frequency of chest compressions (107 ± 7 CPM) compared with STD (114.5 ± 8 ; $p < 0.001$). A higher percentage of full chest recoil was observed in the case of STD ($42 \pm 6\%$) than in the case of OHD ($34 \pm 10\%$).

CONCLUSIONS: Based on the current simulation trial, it is impossible to clearly determine which method (STD vs. OHD) is more effective in resuscitation with PPE-AGP. Paramedics wearing PPE-AGP achieved better chest compression depth for OHD compared to the STD, however, OHD resuscitation causes a lower degree of full chest relaxation. A further well-designed clinical study looking at efficacy, safety, and outcomes is needed to confirm current results.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

Karol Bielski, Voivodeship Emergency Ambulance Service and Sanitary Transport, 22 Poznańska Str., 00–685 Warsaw, Poland
e-mail: karol.bielski.ems@gmail.com

KEY WORDS: chest compression, cardiopulmonary resuscitation, quality, position, personal protective equipment, CBRN, COVID-19, SARS-CoV-2, pandemic, medical simulation, manikin

Disaster Emerg Med J 2020; 5(3): 127–133

INTRODUCTION

The outbreak of coronavirus disease 2019 (COVID-19) has become a primary challenging public health issue [1]. On March 11, 2020, the World Health Organization declared that the pandemic of COVID-19 had become a public health emergency of global concern. As of September 2, 2020 COVID-19 has been reported with a total of 25,835,301 confirmed cases and over 858,661 deaths. New coronavirus SARS-CoV-2 is mainly transmitted through 1) Direct exposure with cough, sneeze, and droplet inhalation within a range of about 1.8 meters; and 2) Contact transmission through contact with oral, nasal, and eye mucous membranes [2, 3]. Current personal protective equipment (PPE) and infection control guidelines from the WHO is based on the assumption that the primary mechanism of transmission is direct and indirect droplet spread. In this situation, paramedics working in the pre-hospital setting should treat any patient as potentially infected with the SARS-CoV-2 virus [4, 5]. The WHO advises that airborne transmission can occur, but only when aerosol-generating procedures (AGP) are performed [6]. AGPs are those that have the potential to generate aerosols and droplets that can spread respiratory pathogens. In this context, cardiopulmonary resuscitation (CPR) is a complex procedure that is particularly dangerous for medical personnel. As the study by Borkowska et al. examining the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation during the COVID-19 pandemic, the return of spontaneous circulation (ROSC) in prehospital setting was observed only in 9.4% of resuscitated patients [7]. In turn, Baldi et al. indicating the OHCA issues in Italy indicate that during the first 40 days of the COVID-19 outbreak (February 21 through March 31, 2020) with those that occurred during the same period in 2019 and indicate a 58% increase rate of OHCA in 2020 [8]. Low patient survival may be caused by both the negative consequences of SARS-CoV-2 infection, as well as the reduced effectiveness of the procedure performed by Emergency Medical Service personnel wearing PPE-AGP.

The goal of the current study was to compare the quality by which a chest compression during simulated COVID-19 resuscitation while wearing PPE-AGP. A secondary goal was to assess provider

preferences with standard versus OHD chest compression methods while wearing PPE-AGP.

METHODS

Study Population and Setting

The study population consisted of paramedics participating in the training of Advanced Cardiovascular Life Support (ACLS) conducted according to the AHA guidelines [9]. Inclusion criteria were: a) consent to participate in the study, b) active paramedic status, c) minimum one year of experience in EMS teams. Exclusion criteria were: a) refusal to consent, b) presence of medical concerns precluding the ability to participate, including pregnancy or asthma, c) symptoms or suspicion of viral infection.

Study Design

A prospective, randomized, crossover single-blinded simulation trial was conducted. The protocol of this trial was approved by the Institutional Review Board of the Polish Society of Disaster Medicine (No. 22.01.20.IRB). The study was conducted according to the Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) statement (Suppl. 1).

Before beginning the simulation portion of the study, all participants were asked to complete a short questionnaire concerning previous experiences with clinical resuscitation as well as PPE-AGP using. Additionally, all participants participated in a 60-minute training session reminding the principles of cardiopulmonary resuscitation following the guidelines of the American Heart Association (AHA) [9], as well as the demonstration of the correct donning of the PPE-AGP suit and performing chest compression using the STD and OHD method (Fig. 1).

After the demonstration session, participants were randomized to STD or OHD while wearing a Tychem F Level-C (DuPont, Wilmington, USA) suit, airway protection N95 respirator (3M Poland, Kaletany, Poland), face shield (3M Poland, Kaletany, Poland) including double nitrile gloves (MedaSEPT®, Poznan, Poland).

The participants were then asked to perform a 2-minute cycle of continuous chest compression (CCC) using one method, then had a 30-minute

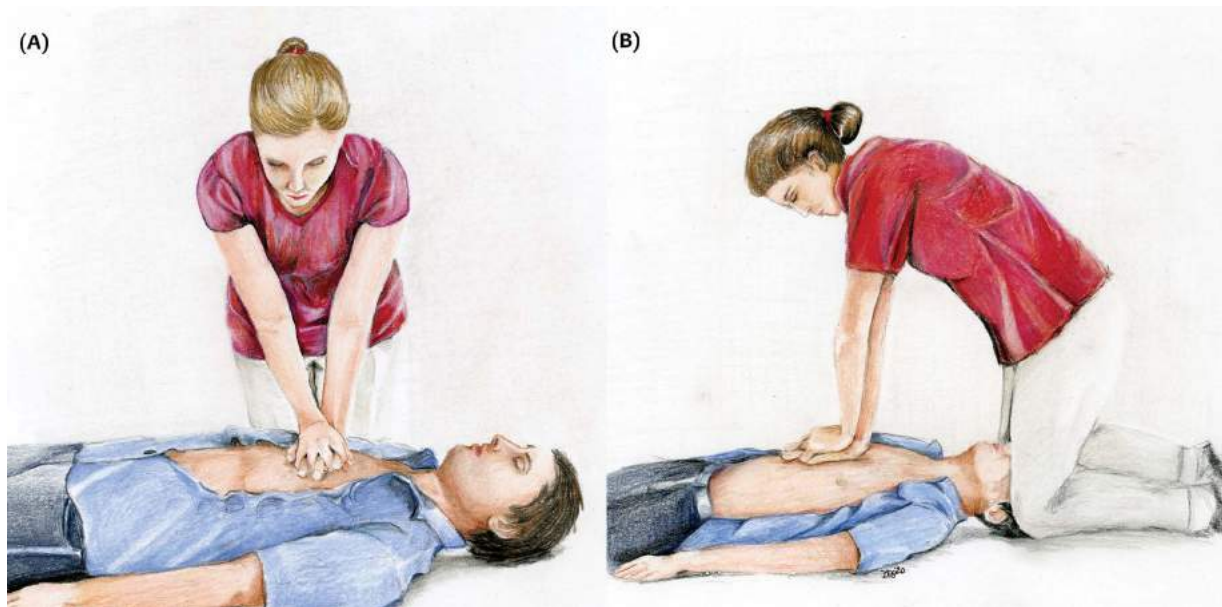


FIGURE 1. Chest compression methods used in the trial: (A) Standard position; (B) Over-the-head position

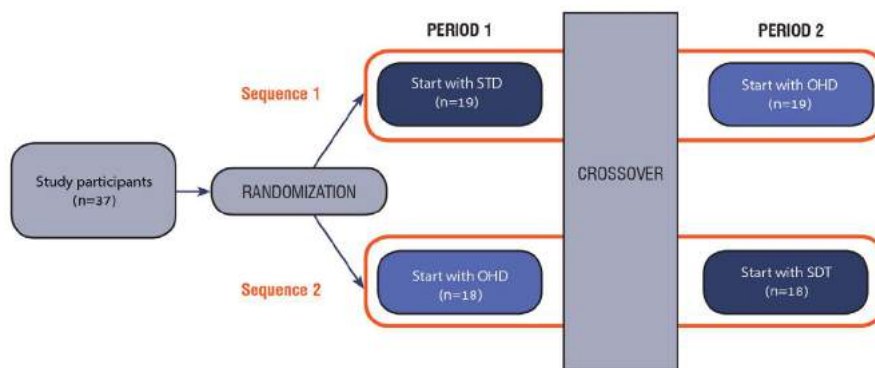


FIGURE 2. Randomization flow chart

break, and then performed chest compression using another method. The detailed procedure of trial randomization is presented in Figure 2.

All chest compressions were performed on a SimMan 3G (Laerdal Inc., Stavanger, Norway) adult simulator. The simulator was placed on a flat surface to simulate sudden cardiac arrest at home.

After performing chest compression both methods, each participant completed the post-intervention questionnaire regarding perceptions of ease of chest compression while wearing PPE-AGP.

Outcomes and Data Collection

The primary outcome measure was the quality of chest compression, which consisted of the following parameters: chest compression rate, chest compression depth as well as chest recoil. The values

indicated in the AHA guidelines [9] were used as reference values. Accordance with those guidelines, chest compression rate should be between 100 and 120 compressions per minute (CPM), the depth of chest compressions should be 5 to 6 cm, and after each compression should be followed by full relaxation of the chest.

The chest compression quality data was recorded in real-time using the simulator control software — Laerdal Learning Application (LLEAP software, v.7.1.0; Laerdal Inc, Stavanger, Norway).

De-identified participants' data were entered into Macintosh Excel Database (Microsoft Excel for MAC 2020, v.16.40; Microsoft Inc., Redmond, WA, USA). Data were correlated with questionnaire response data by the use of pre-assigned participant numbers.

Table 1. Summary of study results

Compression parameter	STD	OHD	MD / OR (95%CI)	p-value
CC depth (mm)	42 (± 2)	46 (± 4)	MD = -4.00 (-5.44, -2.56)	< 0.001
CC rate (CPM)	114.5 (± 8)	107 (± 7)	MD = 7.50 (4.07, 10.93)	< 0.001
Chest recoil (%)	42 (± 6)	34 (± 10)	MD = 8.00 (4.24, 11.76)	< 0.001
Correct hand placement (%)	96.5 (± 2.5)	96 (± 4)	MD = 0.50 (-1.02, 2.02)	0.52
Preferences (%)	16/37 (43.2%)	21/37 (56.8%)	OR = 0.58 (0.23, 1.46)	0.25

CC — Chest compression; CPM — Compressions per minute; STD — Standard position; OHD — Over-the-head position; MD — Mean difference; OR — Odds ratio; CI — Confidence interval

Statistical analysis and Sample Size Calculations

Sample size calculations were performed based on a two-sided paired t-test assuming 80% power and a significance level of 0.05. Assumptions for expected results were based upon the work of Malysz et al. [10]. Those calculations indicated that a sample size of 32 participants would be required to power the trial adequately to detect a difference of 5 millimeters between the two modalities. To ensure a safety margin, we recruited 37 participants in this study.

All calculations were done with the STATISTICA software package (v.13.3EN; Tibco Inc, Tulsa, OK, USA). For statistical analysis, the data was blinded. Continuous features were summarized with means and standard deviations. Categorical features were summarized with frequency counts and percentages. The Kolmogorov-Smirnov test was applied to test data for normality. Fisher Exact Tests were used to compare resident survey responses. We compared qualitative variables by Fisher exact test and Kruskal-Wallis test. Continuous data, including the time for the successful intravascular access, were analyzed using analysis of variance (ANOVA) testing. All tests were two-sided and p values less than 0.05 were considered statistically significant.

RESULTS

The study involved 37 paramedics whose mean age was 31 ± 7.5 years and mean work experience in EMS was 6.7 ± 4.5 years. All participants in the study declared their experience in the field of CPR in clinical settings. None of the study participants had experience with chest compression wearing PPE-AGP before study entry.

A detailed summary of the results of chest compression parameters is presented in Table 1. Mean chest compression depth using distinct CC methods varied and amounted to 42 ± 2 mm for STD vs. 46 ± 4 mm for OHD ($p < 0.001$). Chest com-

pressions based on the OHD method were associated with a lower frequency of chest compressions (107 ± 7 CPM) compared with STD (114.5 ± 8 ; $p < 0.001$). A higher percentage of full chest recoil was observed in the case of STD ($42 \pm 6\%$) than in the case of OHD ($34 \pm 10\%$). This difference was statistically significant ($p < 0.001$). The differences incorrect hand placement between STD and OHD were not statistically significant.

Most people (58.8%) indicated OHD as the preferred method during true CPR. The remaining people indicated the STD method as the preferred method.

DISCUSSION

The aim of the study was to compare two techniques of chest compression (STD vs. OHD) performed by paramedics wearing PPE-AGP. The prevailing COVID-19 pandemic causes that in the case of OHCA paramedics should perform CPR in protective suits. To the authors' knowledge, this is the first STD vs. OHD under the conditions of use personal protective equipment against aerosol-generating procedures.

Performing medical procedures when healthcare workers are wearing PPE-AGP may reduce the effectiveness of the procedures performed by extending the duration of these procedures as well as reducing the effectiveness of individual attempts to perform the procedure. This applies to both obtaining intravascular access [11], advanced airway management [12], as well as the effectiveness of chest compression [13]. Chen et al. [14] indicated significant deterioration of CC performance in HCWs with the use of a level-C personal protective equipment, which may be a disadvantage for enhancing the survival of cardiac arrest. In turn, a study by Donoghue et al. shows that during a clinically appropriate 2-minute period, neither CC quality nor self-reported fatigue worsened to a significant degree in providers wearing PPE [15]. Donghue also indicates that that

Pediatric Basic Life Support recommendations for CC providers to switch every 2 minutes need not be altered with PPE use. The research of Malysz et al. [13] indicates that in the case of adult resuscitation, the use of PPE reduces the quality of chest compression, including a reduction in the depth of chest compressions and the correctness of chest relaxation with time. The differences between these two studies can be explained by the fact that resuscitation was carried out concerning the various simulators: an adult and a child. In the study by Malysz et al. an adult simulator was used, whose cardiopulmonary resuscitation requires much more effort than the resuscitation of a child. On the other hand, Donghue indicates that the depth of chest compression did not decrease significantly over time, however, according to the analysis of the data obtained by him, chest compression was performed based on too shallow chest compressions, which were on average 2.2 cm, while the guidelines of resuscitation for 5-years old child recommend that the CC depth be between 1/3 to 1/2 of the anteroposterior diameter of the chest, corresponding to a depth of at least 5cm [16]. Nevertheless, it is clear that the returning of the spontaneous circulation (ROSC) in patients experiencing cardiac arrest is dependent on the quality of the CPR they receive. However, a number of investigations have demonstrated that rescuers develop immediate fatigue during CPR and the quality of CC declines rapidly after 1 to 3 min of CPR [17]. Abelairas-Gómez et al. showed that a simple strength training program has a significant impact on the quality of chest compressions and its maintenance over time [18]. The analysis of the performed examination showed a statistically significantly greater depth of chest compressions during compression performed by OHD. This may be due to the force applied to the chest being directed differently, thus exerting more pressure on the chest than is the case with an STD.

Another parameter, apart from the depth of chest compressions, influencing the quality of chest compression is the CC rate per minute. The chest compression rate was also associated with the return of spontaneous circulation [19, 20]. CPR guidelines performer by AHA as well as ERC recommends that the CPR be greater than 100CPM, but not greater than 120CPM [21, 22]. Despite the existence of differences in the rate of chest compression despite the STD and OHD groups, these rates were within the recommended range. Despite subsequent

editions of the CPR guidelines, there is still no consensus among scientists regarding the optimal rate of chest compression. As indicated Solevåg et al. [23] and other authors, a higher CC rate (i.e. over 120/min) is also more fatiguing, which affects CC quality [24]. In turn, a study by Kilgannon et al. conducted in in-hospital cardiac arrest adult patients, a chest compression rate of 121-140CPM had the highest odds ratio of ROSC [25]. In the case of OHCA, Idris et al. indicated that compression rates between 100 and 120CPM were associated with the greatest survival to hospital discharge [19].

In this study, the continuous chest compression technique was selected. According to the ERC and AHA guidelines, efforts should be made to minimize interruptions in chest compressions. Moreover, as evidenced by Ewy et al. [26] research, CCC compared with 30:2 compressions-to-ventilations cardiopulmonary resuscitation improved neurological outcome. Wang et al. in a prospective, randomized animal study in the first 12 minutes of CPR, continuous compressions could maintain relatively better coronary perfusion pressure, PaO_2 , and global ventilation/perfusion values than 30:2 cardiopulmonary resuscitation [27]. The above advantage of continuous chest compressions over 30:2 resuscitation was also confirmed in other studies [28-30]. However, as the study by Liu et al. shows, chest compression quality decreased significantly faster when performing CCC compared to 30:2 method [31]. Therefore, the person compressing the chest should be changed every two minutes or sooner.

Another parameter influencing the quality of chest compression is full chest recoil (FCR), which was independently associated with improved survival and favorable neurologic outcome at hospital discharge after adult OHCA [32]. In our study, the correctness of chest relaxation in both STD and OHD was insufficient, and in the case of OHD, a statistically significant reduction in the correctness of FCR was observed. This may be because paramedics tend to lean excessively on the patient's chest in over-the-head resuscitation.

The above-mentioned and described parameters of chest compression, such as the depth of chest compressions, the frequency of compression or the correctness of chest relaxation are extremely important and affect the quality of the compression and thus the effectiveness of the entire CPR, however, they should not be treated individually — but try to perform CPR based on all parameters of chest compression at the same time [33, 34].

Limitations and Strengths

Limitations of the medical simulation trials have been previously described [13]. In addition, only a group of paramedics participated in the study, however, it was a deliberate action dictated by the fact that paramedics are the first line of contact with OHCA patients and are relatively often forced to undertake resuscitation measures in pre-hospital conditions, and in the time of the prevailing COVID pandemic -19, these procedures should be performed in PPE-AGP.

The study also has strengths. To the authors' knowledge, this is the first study to evaluate STD vs. OHD chest compression methods by paramedics while wearing PPE-AGP. Another strong point of the study is its randomized cross-over nature and the fact that it was a single-blinded study.

CONCLUSIONS

Based on the current simulation trial, it is impossible to determine which method (STD vs. OHD) is more effective in resuscitation with PPE-AGP. Paramedics wearing PPE-AGP achieved better chest compression depth for OHD compared to the STD, however, OHD resuscitation causes a lower degree of full chest relaxation. A further well-designed clinical study looking at efficacy, safety, and outcomes is needed to confirm current results.

Supplement 1. CONSORT checklist

Supplementary material related to this article can be found, in the online version, at: https://journals.viamedica.pl/disaster_and_emergency_medicine/article/view/DEMJ.a2020.0034#supplementaryFiles

Conflict of Interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

Sources of funding

None.

Acknowledgement

The authors would like to thank all paramedics who participated in this study. The study was supported by the ERC Research Net and by the Polish Society of Disaster Medicine.

REFERENCES

1. Dzieciatkowski T, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. COVID-19 challenge for modern medicine. *Cardiol J*. 2020; 27(2): 175–183, doi: [10.5603/CJ.a2020.0055](https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0055), indexed in Pubmed: [32286679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32286679/).
2. Xiao F, Sun J, Xu Y, et al. Infectious SARS-CoV-2 in Feces of Patient with Severe COVID-19. *Emerg Infect Dis*. 2020; 26(8): 1920–1922, doi: [10.3201/eid2608.200681](https://doi.org/10.3201/eid2608.200681), indexed in Pubmed: [32421494](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32421494/).
3. Vivanti AJ, Vauloup-Fellous C, Prevot S, et al. Transplacental transmission of SARS-CoV-2 infection. *Nat Commun*. 2020; 11(1): 3572, doi: [10.1038/s41467-020-17436-6](https://doi.org/10.1038/s41467-020-17436-6), indexed in Pubmed: [32665677](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32665677/).
4. Smereka J, Szarpak L, Filipiak K. Modern medicine in COVID-19 era. *Disaster and Emergency Medicine Journal*. 2020, doi: [10.5603/demj.a2020.0012](https://doi.org/10.5603/demj.a2020.0012).
5. Pruc M, Golik D, Szarpak L, et al. COVID-19 in healthcare workers. *Am J Emerg Med*. 2020 [Epub ahead of print], doi: [10.1016/j.ajem.2020.05.017](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.05.017), indexed in Pubmed: [32414525](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32414525/).
6. Maji C. Modes of transmission of COVID-19 outbreak- a mathematical study. , doi: [10.1101/2020.05.16.20104315](https://doi.org/10.1101/2020.05.16.20104315).
7. Gilliam S. Dual Defibrillation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Retrospective Cohort Analysis. *The Journal of Emergency Medicine*. 2016; 51(5): 616–617, doi: [10.1016/j.jemermed.2016.09.038](https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2016.09.038).
8. Baldi E, Sechi GM, Mare C, et al. Lombardia CARE Researchers. Out-of-Hospital Cardiac Arrest during the Covid-19 Outbreak in Italy. *N Engl J Med*. 2020; 383(5): 496–498, doi: [10.1056/NEJMc2010418](https://doi.org/10.1056/NEJMc2010418), indexed in Pubmed: [32348640](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32348640/).
9. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2015; 132(18 Suppl 2): S444–S464, doi: [10.1161/CIR.0000000000000261](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000261), indexed in Pubmed: [26472995](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26472995/).
10. Malysz M, Bielski K, Smereka J, et al. Which technique of chest compression should we use wearing full personal protective equipment: a pilot data. *Post N Med*.; 2020.
11. Smereka J, Szarpak L, Filipiak KJ, et al. Which intravascular access should we use in patients with suspected/confirmed COVID-19? Resuscitation. 2020; 151: 8–9, doi: [10.1016/j.resuscitation.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.014), indexed in Pubmed: [32304800](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32304800/).
12. Ludwin K, Bialka S, Czyzewski L, et al. Video laryngoscopy for endotracheal intubation of adult patients with suspected/ confirmed COVID-19. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Disaster and Emergency Medicine Journal*. 2020, doi: [10.5603/demj.a2020.0023](https://doi.org/10.5603/demj.a2020.0023).
13. Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, et al. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J*. 2020 [Epub ahead of print], doi: [10.5603/CJ.a2020.0068](https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0068), indexed in Pubmed: [32419128](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32419128/).
14. Chen J, Lu KZ, Yi B, et al. Chest Compression With Personal Protective Equipment During Cardiopulmonary Resuscitation: A Randomized Crossover Simulation Study. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(14): e3262, doi: [10.1097/MD.00000000000003262](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000003262), indexed in Pubmed: [27057878](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27057878/).
15. Donoghue AJ, Kou M, Good GL, et al. Best Pharmaceuticals for Children Act – Pediatric Trials Network. Impact of Personal Protective Equipment on Pediatric Cardiopulmonary Resuscitation Performance: A Controlled Trial. *Pediatr Emerg Care*. 2020; 36(6):

- 267–273, doi: [10.1097/PEC.0000000000002109](https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002109), indexed in Pubmed: [32483079](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32483079/).
16. de Caen AR, Berg MD, Chameides L, et al. Part 12: Pediatric Advanced Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care (Reprint). *Pediatrics*. 2015; 136 Suppl 2(18 Suppl 2): S176–S195, doi: [10.1542/peds.2015-3373F](https://doi.org/10.1542/peds.2015-3373F), indexed in Pubmed: [26471384](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26471384/).
 17. Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL, et al. Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min. *Resuscitation*. 2002; 55(2): 151–155, doi: [10.1016/s0300-9572\(02\)00168-5](https://doi.org/10.1016/s0300-9572(02)00168-5), indexed in Pubmed: [12413752](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12413752/).
 18. Abelairas-Gómez C, Barcala-Furelos R, Szarpak Ł, et al. The effect of strength training on quality of prolonged basic cardiopulmonary resuscitation. *Kardiol Pol*. 2017; 75(1): 21–27, doi: [10.5603/KPa.2016.0165](https://doi.org/10.5603/KPa.2016.0165), indexed in Pubmed: [27878801](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27878801/).
 19. Idris AH, Guffey D, Pepe PE, et al. Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med*. 2015; 43(4): 840–848, doi: [10.1097/CCM.0000000000000824](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000824), indexed in Pubmed: [25565457](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25565457/).
 20. Zhu Ni, Chen Qi, Jiang Z, et al. A meta-analysis of the resuscitative effects of mechanical and manual chest compression in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Crit Care*. 2019; 23(1): 100, doi: [10.1186/s13054-019-2389-6](https://doi.org/10.1186/s13054-019-2389-6), indexed in Pubmed: [30917840](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30917840/).
 21. Neumar RW, Shuster M, Callaway CW, et al. Part 1: Executive Summary: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2015; 132(18 Suppl 2): S315–S367, doi: [10.1161/CIR.0000000000000252](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000252), indexed in Pubmed: [26472989](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26472989/).
 22. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, et al. ERC Guidelines 2015 Writing Group. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 1. Executive summary. *Resuscitation*. 2015; 95: 1–80, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.07.038](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.038), indexed in Pubmed: [26477410](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26477410/).
 23. Solevåg AL, Schmölzer GM. Optimal Chest Compression Rate and Compression to Ventilation Ratio in Delivery Room Resuscitation: Evidence from Newborn Piglets and Neonatal Manikins. *Front Pediatr*. 2017; 5: 3, doi: [10.3389/fped.2017.00003](https://doi.org/10.3389/fped.2017.00003), indexed in Pubmed: [28168185](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28168185/).
 24. Smereka J, Iskrzycki Ł, Makomaska-Szaroszyk E, et al. The effect of chest compression frequency on the quality of resuscitation by life-guards. A prospective randomized crossover multicenter simulation trial. *Cardiol J*. 2019; 26(6): 769–776, doi: [10.5603/CJ.a2018.0121](https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0121), indexed in Pubmed: [30338845](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30338845/).
 25. Kilgannon JH, Kirchhoff M, Pierce L, et al. Association between chest compression rates and clinical outcomes following in-hospital cardiac arrest at an academic tertiary hospital. *Resuscitation*. 2017; 110: 154–161, doi: [10.1016/j.resuscitation.2016.09.015](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.09.015), indexed in Pubmed: [27666168](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27666168/).
 26. Ewy GA, Zuercher M, Hilwig RW, et al. Improved neurological outcome with continuous chest compressions compared with 30:2 compressions-to-ventilations cardiopulmonary resuscitation in a realistic swine model of out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2007; 116(22): 2525–2530, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.107.711820](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.711820), indexed in Pubmed: [17998457](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17998457/).
 27. Wang S, Li C, Ji X, et al. Effect of continuous compressions and 30:2 cardiopulmonary resuscitation on global ventilation/perfusion values during resuscitation in a porcine model. *Crit Care Med*. 2010; 38(10): 2024–2030, doi: [10.1097/CCM.0b013e3181eed90a](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181eed90a), indexed in Pubmed: [20683258](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20683258/).
 28. Brown SP, Wang H, Aufderheide TP, et al. ROC Investigators. A randomized trial of continuous versus interrupted chest compressions in out-of-hospital cardiac arrest: rationale for and design of the Resuscitation Outcomes Consortium Continuous Chest Compressions Trial. *Am Heart J*. 2015; 169(3): 334–341.e5, doi: [10.1016/j.ahj.2014.11.011](https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.11.011), indexed in Pubmed: [25728722](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25728722/).
 29. Smereka J, Szarpak Ł, Rodríguez-Núñez A, et al. A randomized comparison of three chest compression techniques and associated hemodynamic effect during infant CPR: A randomized manikin study. *Am J Emerg Med*. 2017; 35(10): 1420–1425, doi: [10.1016/j.ajem.2017.04.024](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.04.024), indexed in Pubmed: [28433454](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28433454/).
 30. Zhan L, Yang LiJ, Huang Yu, et al. Continuous chest compression versus interrupted chest compression for cardiopulmonary resuscitation of non-asphyxial out-of-hospital cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017; 3: CD010134, doi: [10.1002/14651858.CD010134.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD010134.pub2), indexed in Pubmed: [28349529](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28349529/).
 31. Liu S, Vaillancourt C, Kasaboski A, et al. Bystander fatigue and CPR quality by older bystanders: a randomized crossover trial comparing continuous chest compressions and 30:2 compressions to ventilations. *CJEM*. 2016; 18(6): 461–468, doi: [10.1017/cem.2016.373](https://doi.org/10.1017/cem.2016.373), indexed in Pubmed: [27650514](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27650514/).
 32. Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Stolz U, et al. Chest compression release velocity: Association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2015; 92: 107–114, doi: [10.1016/j.resuscitation.2015.04.026](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.026), indexed in Pubmed: [25936931](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25936931/).
 33. Considine J, Gazmuri RJ, Perkins GD, et al. Chest compression components (rate, depth, chest wall recoil and leaning): A scoping review. *Resuscitation*. 2020; 146: 188–202, doi: [10.1016/j.resuscitation.2019.08.042](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.042), indexed in Pubmed: [31536776](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31536776/).
 34. Smereka J, Bielski K, Ladny JR, et al. Evaluation of a newly developed infant chest compression technique: A randomized crossover manikin trial. *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96(14): e5915, doi: [10.1097/MD.0000000000005915](https://doi.org/10.1097/MD.0000000000005915), indexed in Pubmed: [28383397](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28383397/).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zbór prac dotyczących efektywności kompresji klatki piersiowej w warunkach symulowanej resuscytacji krążeniowo – oddechowej pacjenta z podejrzeniem lub potwierdzeniem COVID-19 prowadzonych przez personel ubrany w kombinezony ochrony osobistej składa się z trzech publikacji oryginalnych [44-46]. Badania zostały przeprowadzone w warunkach symulacji medycznej, przy czym dwa badania były badaniami wieloośrodkowymi [44,45]. W celu symulacji pacjenta z podejrzeniem/potwierdzeniem choroby zakaźnej wykorzystano zaawansowany symulator osoby dorosłej SimMan 3G (Laerdal, Stavanger, Norwegia).

Celem pierwszej pracy było porównanie jakości kompresji klatki piersiowej z wykorzystaniem systemu mechanicznej kompresji klatki piersiowej LUCAS3, urządzenia wspomagającego kompresję klatki piersiowej – CPRMeter2 oraz bezprzryądowej kompresji. Podczas badania personel medyczny był ubrany w kombinezony ochronne ProChem I F, maskę twarzową klasy FFP2, gogle ochronne, przyłbicę oraz podwójne nitrylowe rękawice ochronne.

Celem drugiej pracy było porównanie trzech metod kompresji klatki piersiowej pod kątem jakości uciskania klatki piersiowej: mechanicznej kompresji z wykorzystaniem systemu LUCAS3, z wykorzystaniem urządzenia TrueCPR2 oraz jako złotego standardu bezprzryądowej kompresji klatki piersiowej.

Celem trzeciej pracy było wpływu pozycji ratownika względem pacjenta podczas prowadzenia bezprzryądowej kompresji klatki piersiowej. Podczas badania resuscytacja była prowadzona w dwóch scenariuszach, gdzie ratownik wykonujący kompresję klatki piersiowej znajduje się: a) z boku pacjenta; b) za głową pacjenta.

Od grudnia 2019 roku, Świat boryka się z nowym koronawirusem SARS-CoV-2, który wywołuje chorobę COVID-19 [47]. Obecnie choroba ta przybrała formę pandemii, zaś na dzień 29 listopada 2020r. odnotowano 6 238 7797 przypadków choroby, która spowodowała śmierć blisko 1,5 miliona osób co stanowi śmiertelność na poziomie 2,3%. Jak wskazują liczne badania SARS-CoV-2 podobnie jak wirus grypy może być roznoszony drogą kropelkową, stąd personel medyczny podczas wykonywania działań medycznych powinien być ubrany w kombinezony ochronne, aby zmniejszyć ryzyko infekcji [48].

Jednakże zastosowanie kombinezonów ochronnych może wpłynąć na zmniejszenie efektywności wykonywanych procedur jak również wydłużyć ich czas. Dotyczy to zarówno zabezpieczania dróg oddechowych [49,50], uzyskiwania dostępów donaczyniowych [51,52] jak również samej kompresji klatki piersiowej [53]. Powyższa tendencja dotyczy zarówno procedur wykonywanych względem dorosłych jak i pacjentów pediatrycznych [54].

Manualna (bezprzryzędowa) kompresja klatki piersiowej stanowi podstawową metod stosowaną podczas resuscytacji krążeniowo – oddechowej. Obecnie prowadzone szkolenia, z uwagi na koniecznoř redukcji strachu przed podejmowaniem resuscytacji jak równieŹ wyrobienia nawyku podejmowania kompresji klatki piersiowej u osoby z zatrzymaniem krążenia prowadzone są juŹ na etapie wczesnoszkolnym [55,56]. JednakŹ wiele badañ nadal wskazuje na prowadzenie kompresji klatki piersiowej o niewystarczającej jakořci, zarówno w aspekcie personelu medycznego [31,57] jak i osób nie posiadających wykształcenia medycznego [58,59]. W badaniach wlasnych manualna kompresja klatki piersiowej równieŹ generowala najniŹsz głębokoř uciřnieć klatki piersiowej [44,45].

W badaniu opublikowanym na łamach Disaster and Emergency Medicine Journal porównano dwie techniki bezprzryzędowej kompresji klatki piersiowej w zaleŹnořci od pozycji ratownika względem pacjenta. Wyniki te wskazały, iŹ bardziej optymalną pozycj ratownika przy kompresji klatki piersiowej jest pozycja zza głowy pacjenta. Wyniki w warunkach normalnych (bez kombinezonu CBRN) potwierdzają równieŹ wyniki Ćwiertni i wsp. [60], jak równieŹ Nasiri [61]. JednakŹ pozycja zza głowy pacjenta związana jest z większym ryzykiem opierania się ratownika na klatce piersiowej, co sprzyja ograniczeniu dekompresji klatki piersiowej [46].

Jak wskazują przytoczone powyŹej publikacje oraz wyniki badañ wlasnych, manualna kompresja klatki piersiowej prowadzona przez personel medyczny ubrany w pełne kombinezony ochrony osobistej jest mało efektywna. W związku z powyŹszym rozsądnym jest stosowanie alternatywnych metod podnoszących jakořć kompresji klatki piersiowej a tym samym prowadzonej resuscytacji krążeniowo – oddechowej.

Zastosowanie urzdzeñ wspomagających resuscytację poprzez wskazywanie w czasie rzeczywistym częstořci i głębokořci kompresji klatki piersiowej czy teŹ stopnia jej relaksacji moŹe wpłynąć korzystnie na prowadzoną resuscytację, gdyŹ ratownik niezaleŹnie czy jest ubrany w kombinezon CBRN czy teŹ nie, jest w stanie w czasie rzeczywistym

korygować jakość prowadzonej kompresji w oparciu o wskazania urządzenia [62]. Obecnie wytyczne resuscytacji zalecają stosowanie urządzeń typu TrueCPR czy też CPRMeter już na etapie nauczania resuscytacji tak aby potencjalny ratownik wyrobił nawyki dotyczące uciskania klatki piersiowej na odpowiednią głębokość i z odpowiednią częstotliwością, jak również wykonywał kompresję klatki piersiowej z jej pełną relaksacją [2,63].

Przeprowadzone badanie [44,45] wykazało, iż w przypadku studentów medycyny zastosowanie asystentów resuscytacji w postaci urządzenia CPRMeter wiązało się z poprawą głębokości ucisków w porównaniu z manualną kompresją ($P=0.031$). W przypadku ratowników medycznych zastosowanie urządzenia TrueCPR wpływało na poprawę głębokości uciśnień klatki piersiowej w porównaniu z bezprzrządową resuscytacją, jednakże różnice te nie były istotne statystycznie ($P=0.328$). Jednakże zarówno w przypadku CPRMeter jak i TrueCPR odnotowano istotnie statystycznie wyższy poziom poprawnej relaksacji klatki piersiowej ($P<0.001$).

Wytyczne Europejskiej Rady Resuscytacji jak i Amerykańskiego Towarzystwa Kardiologicznego nie zalecają rutynowego stosowania mechanicznych systemów kompresji klatki piersiowej, gdyż jak wskazują niektóre publikacje naukowe zastosowanie tych urządzeń nie wpływa na zwiększenie przeżywalności pacjentów. Jednakże wytyczne wskazują również potencjalne sytuacje kliniczne w których możemy zastosować mechaniczne systemy do kompresji klatki piersiowej. Należą do nich m.in.: przedłużająca się resuscytacja krążeniowo – oddechowa czy też niemożliwość utrzymania wysokiej jakości kompresji klatki piersiowej jak ma to miejsce np. podczas transportu pacjenta. Mogliocca i wsp. prowadząc badanie na modelu zwierzęcym udowodnili, iż system LUCAS w porównaniu z manualną kompresją klatki piersiowej generuje wyższe ciśnienia (43 ± 4 i 18 ± 4 mmHg) jak również zwiększa poziom końcowo-wydechowego dwutlenku węgla (31 ± 2 i 19 ± 2 mmHg) [30]. Dodatkowo resuscytacja z wykorzystaniem systemu LUCAS wiązała się z niższym stężeniem kwasu mlekowego (odpowiednio: $6,6 \pm 0,4$ i $8,2 \pm 0,5$ mmol/L, $P<0,01$). Na możliwość zastosowania mechanicznych systemów kompresji klatki piersiowej podczas transportu pacjenta wskazują również inni autorzy [64].

Khan i wsp. w swojej meta-analizie wykazali, iż manualna kompresja klatki piersiowej była bardziej efektywna aniżeli resuscytacja z wykorzystaniem systemu AutoPulse oraz porównywalna z systemem LUCAS w aspekcie 30-dniowej przeżywalności, przeżywalności do wypisu ze szpitala bądź stanu neurologicznego pacjenta [65]. Khan i wsp.

ponadto wskazali, iż manualna kompresja klatki piersiowej wiązała się z mniejszym ryzykiem wystąpienia odmy prężnej czy też krwiaka jamy opłucnej w porównaniu do systemu AutoPulse. Z kolei Gao i wsp. analizując 133 przypadki pozaszpitalnego zatrzymania krążenia wskazali AutoPulse jako bardziej efektywną metodę kompresji klatki piersiowej w porównaniu z manualną kompresją klatki piersiowej [66]. Z kolei meta-analiza wykonana przez Bonnes i wsp. wskazuje na wyższą efektywność mechanicznej kompresji klatki piersiowej nad manualną zarówno w zakresie przeżywalności do przyjęcia do szpitala, jednakże dane te nie wskazują na zwiększenie efektywności w zakresie poprawy neurologicznej pacjentów [67]. Koster i wsp. porównali urządzenia do mechanicznej kompresji klatki piersiowej: LUCAS i AutoPulse. Wykazali również, iż system LUCAS nie powodował statystycznie istotnie więcej zagrażających życiu uszkodzeń dużych naczyń aniżeli urządzenie AutoPulse [68].

Jak wspomniano uprzednio, zastosowanie kombinezonów ochronnych może wpływać na zmniejszenie jakości uciśnień klatki piersiowej. Chen i wsp. wykazali iż zastosowanie kombinezonów wiązało się ze znaczą redukcją efektywnych uciśnień klatki piersiowej w porównaniu z resuscytacją prowadzoną bez kombinezonu ochronnego (odpowiednio: $41,3 \pm 17,1\%$ i $67,5 \pm 15,6\%$; $P < 0,001$)[38].

Przeprowadzone badania symulacyjne wskazują, iż w przypadku prowadzenia resuscytacji krążeniowo – oddechowej osoby z podejrzeniem/potwierdzeniem choroby zakaźnej personel medyczny ubrany w kombinezony ochrony osobistej CBRN powinien w celu optymalizacji jakości kompresji klatki piersiowej stosować mechaniczne systemy kompresji klatki piersiowej.

Bezprzryądowa kompresja klatki piersiowej prowadzona przez personel medyczny w kombinezonach CBRN zza głowy pacjenta generuje większą głębokość ucisków aniżeli w przypadku, gdy ratownik zajmuje pozycję z boku pacjenta.

Efektywność bezprzryądowej kompresji klatki piersiowej podczas gdy ratownik ubrany jest w kombinezon CBRN spada już po pierwszej minucie kompresji, zasadnym zatem jest rozważenie zmiany częstości osoby prowadzącej kompresję klatki piersiowej.

5. OŚWIADCZENIA AUTORÓW PUBLIKACJI

Dr n. o zdr. Marek Dąbrowski

(imię i nazwisko)

Poznań, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w zbieraniu danych oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr n. o zdr. Marek Dąbrowski
(podpis oświadczającego)

Prof. B. W. Böttiger

(imię i nazwisko)

Cologne, 30 Nov 2020

(city, date)

OŚWIADCZENIE

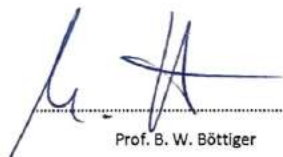
As a co-author of manuscript:

Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

I declare that my own substantive contribution to the preparation, conduct, and develop research and presentation of work in the form of publication is: drafting the manuscript for important intellectual content.

My percentage in the preparation of publication refer to as the 5%.

I also agree to use this manuscript as a part of a doctoral dissertation of Marek Malysz.



Prof. B. W. Böttiger
(signature)

Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof UMW

Wrocław, 30.11.2020r.

(imię i nazwisko)

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. Cardiol J. 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w analizie statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof. UMW

(podpis oświadczającego)



Klaudia Kułak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

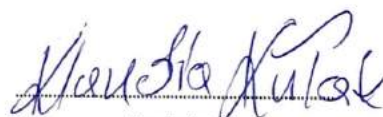
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kułak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. Cardiol J. 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w zbieraniu danych oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Klaudia Kułak

(podpis oświadczającego)

Agnieszka Szarpak

(imię i nazwisko)

Lublin, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w analizie statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Agnieszka Szarpak

(podpis oświadczającego)

Prof. Miłosz Jarosław Jaguszewski

Gdańsk, 30.11.2020r.

(imię i nazwisko)

(miejscowość, data)

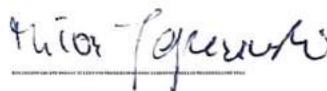
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. Cardiol J. 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w weryfikacji statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Prof. dr hab. n. med. Miłosz Jarosław Jaguszewski

(podpis oświadczającego)

Prof. Krzysztof Jerzy Filipiak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. Cardiol J. 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a.2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w weryfikacji statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

Prof. dr hab. n. med.
KRZYSZTOF J. FILIPIAK
specjalista chorób wewnętrznych i
specjalista kardiologii
farmakologii klinicznej
KARDIOLOG
9714796

Prof. dr hab. n. med. Krzysztof Jerzy Filipiak
(podpis oświadczającego)



Prof. Jerzy Robert Ładny

(imię i nazwisko)

Białystok, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

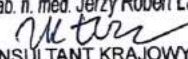
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ładny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w oparowaniu koncepcji badania oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

prof. dr hab. n. med. Jerzy Robert Ładny

KONSULTANT KRAJOWY
ds. MEDYCYNY RATUNKOWEJ

Prof. dr hab. n. med. Jerzy Robert Ładny
(podpis oświadczającego)

Prof. Kurt Ruetzler

(imię i nazwisko)

Cleveland , 30 Nov 2020

(city, date)

OŚWIADCZENIE

As a co-author of manuscript:

Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J.* 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

I declare that my own substantive contribution to the preparation, conduct, and develop research and presentation of work in the form of publication is: drafting the manuscript for important intellectual content.

My percentage in the preparation of publication refer to as the 5%.

I also agree to use this manuscript as a part of a doctoral dissertation of Marek Malysz.



Prof. Kurt Ruetzler

(signature)

Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, Smereka J, Kulak K, Szarpak A, Jaguszewski M, Filipiak KJ, Ladny JR, Ruetzler K, Szarpak L. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. Cardiol J. 2020; 27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w opracowaniu koncepcji badania, zbieraniu wyników oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak, Prof. UM MSC
(podpis oświadczającego)

Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof. UMW

(imię i nazwisko)

Wrocław, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małyś M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział analizie literatury oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małyśa.

Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof. UMW
(podpis oświadczającego)

Prof. Miłosz Jarosław Jaguszewski

Gdańsk, 30.11.2020r.

(imię i nazwisko)

(miejscowość, data)

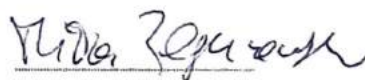
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w analizie bibliografii oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Prof. dr hab. n. med. Miłosz Jarosław Jaguszewski

(podpis oświadczającego)

Dr n. o zdr. Marek Dąbrowski

(imię i nazwisko)

Poznań, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

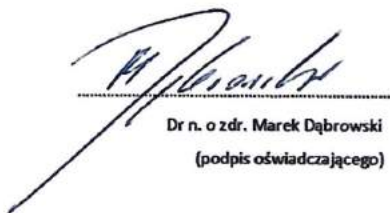
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w zbieraniu materiału oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr n. o zdr. Marek Dąbrowski
(podpis oświadczającego)

Dr n. o zdr. Klaudiusz Nadolny

(imię i nazwisko)

Katowice, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

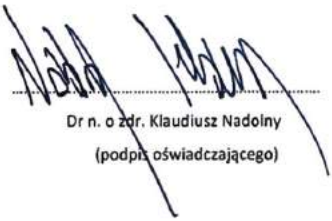
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w zbieraniu materiału oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr n. o zdr. Klaudiusz Nadolny
(podpis oświadczającego)

Prof. Kurt Ruetzler

(Imię i nazwisko)

Cleveland , 30 Nov 2020

(city, date)

OŚWIADCZENIE

As a co-author of manuscript:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. *Kardiol Pol.* 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

I declare that my own substantive contribution to the preparation, conduct, and develop research and presentation of work in the form of publication is: drafting the manuscript for important intellectual content.

My percentage in the preparation of publication refer to as the 5%.

I also agree to use this manuscript as a part of a doctoral dissertation of Marek Małysz.



Prof. Kurt Ruetzler

(signature)

Prof. Jerzy Robert Ładny

(imię i nazwisko)

Białystok, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w analizie bibliografii oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

prof. dr hab. n. med. Jerzy Robert Ładny

KONSULTANT KRAJOWY

ds. MEDYCYNY RATUNKOWEJ.....

Prof. dr hab. n. med. Jerzy Robert Ładny

(podpis oświadczającego)

Prof. dr hab. n. med. Maciej Sterliński

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. *An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study.* Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: **współudział w analizie bibliografii oraz przygotowaniu/współredagowaniu manuskryptu.** Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



prof. dr hab. n. med. Maciej Sterliński

(podpis oświadczającego)

Prof. Krzysztof Jerzy Filipiak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w analizie bibliografii oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5%.

Jednocześnie wyrażám zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

Prof. dr hab. n. med.
KRZYSZTOF J. FILIPIAK
specjalista chorób wewnętrznych
specjalista hipertensjolog
farmakolog kliniczny
KARDIOLOG
Prof. dr hab. n. med. Krzysztof Jerzy Filipiak
9714796
(podpis oświadczającego)

Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak, Prof. UM MSC

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

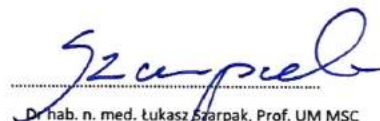
OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małyś M, Smereka J, Jaguszewski M, Dąbrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ładny JR, Sterliński M, Filipiak KJ, Szarpak Ł. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. Kardiol Pol. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział analizie literatury, analizie statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małyśa.



Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak, Prof. UM MSC
(podpis oświadczającego)

Prof. Miłosz Jarosław Jaguszewski

(imię i nazwisko)

Gdańsk, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Malysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w poszukiwaniu piśmiennictwa, analizie statystycznej o przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Prof. dr hab. n. med. Miłosz Jarosław Jaguszewski

(podpis oświadczającego)

Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział analizie literatury, zbieraniu literatury, analizie statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr hab. n. med. Łukasz Szarpak, Prof. UM MSC

(podpis oświadczającego)

Dominika Telecka-Gądek

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział w zbieraniu danych, przygotowaniu ilustracji o przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dominika Telecka-Gądek

(podpis oświadczającego)

Dr n. o zdr. Karol Bielski

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział weryfikacji danych oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr n. o zdr. Karol Bielski

(podpis oświadczającego)

Agata Dąbrowska

(imię i nazwisko)

Poznań, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział zbieraniu danych, analizie literatury oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określiłam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Agata Dąbrowska

(podpis oświadczającego)

Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof. UMW

Wrocław, 30.11.2020r.

(imię i nazwisko)

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział zbieraniu danych, analizie literatury oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.



Dr hab. n. med. Jacek Smereka, Prof. UMW
(podpis oświadczającego)

Prof. Krzysztof Jerzy Filipiak

(imię i nazwisko)

Warszawa, 30.11.2020r.

(miejscowość, data)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy:

Małysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, Telecka-Gadek D, Bielski K, Dabrowska A, Smereka J, Filipiak FK. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover simulation trial. Disaster Emerg Med J. 2020; 5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: współudział analizie literatury, weryfikacji analizy statystycznej oraz przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5%.

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako części rozprawy doktorskiej Marka Małysza.

Prof. dr hab. n. med.
KRZYSZTOF J. FILIPIAK
specjalista chorób wewnętrznych
specjalista hipertensjolog
farmakolog kliniczny
KARDIOLOG
9714796

Prof. dr hab. n. med. Krzysztof Jerzy Filipiak

(podpis oświadczającego)

6. SPIS RYCIN

Rycina 1. Technika kompresji klatki piersiowej z boku pacjenta.....	16
Rycina 2. Technika kompresji klatki piersiowej zza głowy pacjenta.....	17
Rycina 3. Urządzenie TrueCPR.....	18
Rycina 4. Urządzenie CPRMeter2	19
Rycina 5. Parametry kompresji klatki piersiowej wyświetlane przez CPRMeter.....	19
Rycina 6. System mechanicznej kompresji klatki piersiowej LUCAS3	20
Rycina 7. Panel kontrolny systemu kompresji klatki piersiowej LUCAS3..	21
Rycina 8. Przeżywalność do wypisu ze szpitala w okresie pandemii COVID-19 oraz przed pandemią.	22

7. PIŚMIENNICTWO

1. Krogh KB, Høyer CB, Ostergaard D, Eika B. Time matters--realism in resuscitation training. *Resuscitation*. 2014; 85(8):1093-8. doi: 10.1016/j.resuscitation.2014.05.008.
2. Bhanji F, Donoghue AJ, Wolff MS, i wsp. Part 14: Education: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2015; 132(18 Suppl 2):S561-73. doi: 10.1161/CIR.0000000000000268.
3. J.J de Vreede-Swagemakers, A.P Gorgels, W.I Dubois-Arbouw, J.W van Ree, et al. Out-of-hospital cardiac arrest in the 1990s: a population-based study in the Maastricht area on incidence, characteristics and survival
4. C Wren, J.J O'Sullivan, C Wright. Sudden death in children and adolescents. *Heart*. 2000; 83 (4):410-413
5. Pleskot M. Nahla srdecni smrt. In: Vojacek J., Kettner J. *Klinicka kardiologie*. Hradec Kralove: Nucleus HK; 2012. 880-902.
6. Gräsner JT, Herlitz J, Koster RW, Rosell-Ortiz F, Stamakis L, Bossaert L. Quality management in resuscitation--towards a European cardiac arrest registry (EuReCa). *Resuscitation* 2011; 82(8):989-94. doi: 10.1016/j.resuscitation.2011.02.047
7. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation* 2010; 81(11):1479-87. doi: 10.1016/j.resuscitation.2010.08.006
8. Tunstall-Pedoe H, Bailey L, Cham-berlain DA, Marsden AK, Ward ME, Zideman DA. Survey of 3765 cardiopulmonary resuscitations in British hospitals (the BRESUS Study): methods and overall results. *BMJ*. 1992; 304:1347–1351
9. Peberdy MA, Kaye W, Ornato JP, Larkin GL, Nadkarni V, Mancini ME, Berg RA, Nichol G, Lane-Trultt T/ Cardiopulmonary resuscitation of adults in the hospital: a report of 14720 cardiac arrests from the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation. *Resuscitation*. 2003; 58:297–308

10. Tomlinson AE, Nysaether J, Kramer-Johansen J, Steen PA, Dorph E. Compression force-depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2007; 72(3):364-70. doi: 10.1016/j.resuscitation.2006.07.017.
11. Stiell IG, Brown SP, Christenson J, i wsp. What is the role of chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation? *Crit Care Med*. 2012; 40(4):1192-8. doi: 10.1097/CCM.0b013e31823bc8bb.
12. Vadeboncoeur T, Stolz U, Panchal A, et al. Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2014; 85(2):182-8. doi: 10.1016/j.resuscitation.2013.10.002.
13. Lee SH, Kim K, Lee JH, i wsp. Does the quality of chest compressions deteriorate when the chest compression rate is above 120/min? *Emerg Med J*. 2014; 31(8):645-8. doi: 10.1136/emmermed-2013-202682.
14. Field RA, Soar J, Davies RP, Akhtar N, Perkins GD. The impact of chest compression rates on quality of chest compressions - a manikin study. *Resuscitation*. 2012; 83(3):360-4. doi: 10.1016/j.resuscitation.2011.07.012.
15. Duval S, Pepe PE, Aufderheide TP, i wsp. Optimal Combination of Compression Rate and Depth During Cardiopulmonary Resuscitation for Functionally Favorable Survival. *JAMA Cardiol*. 2019; 4(9):900-908. doi: 10.1001/jamacardio.2019.2717.
16. Sutton RM, Reeder RW, Landis W, et al. Chest compression rates and pediatric in-hospital cardiac arrest survival outcomes. *Resuscitation*. 2018; 130:159-166. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.07.015.
17. Considine J, Gazmuri RJ, Perkins GD, i wsp. Chest compression components (rate, depth, chest wall recoil and leaning): A scoping review. *Resuscitation*. 2020; 146:188-202. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.08.042.
18. Smereka J, Szarpak L, Rodríguez-Núñez A, Ladny JR, Leung S, Ruetzler K. A randomized comparison of three chest compression techniques and associated hemodynamic effect during infant CPR: A randomized manikin study. *Am J Emerg Med*. 2017; 35(10):1420-1425. doi: 10.1016/j.ajem.2017.04.024.
19. Kaminska H, Wieczorek W, Matusik P, i wsp. Factors influencing high-quality chest compressions during cardiopulmonary resuscitation scenario, according to 2015 American Heart Association Guidelines. *Kardiol Pol*. 2018; 76(3):642-647. doi: 10.5603/KP.a2018.0003.

20. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, i wsp. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. Resuscitation. 2015 Oct;95:100-47. doi: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.016.
21. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, i wsp. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation. 2015 Nov 3;132(18 Suppl 2):S444-64. doi: 10.1161/CIR.0000000000000261.
22. Cunningham LM, Mattu A, O'Connor RE, Brady WJ. Cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: the importance of uninterrupted chest compressions in cardiac arrest resuscitation. Am J Emerg Med. 2012; 30(8):1630-8. doi: 10.1016/j.ajem.2012.02.015.
23. Ewy GA, Zuercher M, Hilwig RW, I wsp. Improved neurological outcome with continuous chest compressions compared with 30:2 compressions-to-ventilations cardiopulmonary resuscitation in a realistic swine model of out-of-hospital cardiac arrest. Circulation. 2007; 116(22):2525-30. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.711820.
24. Sanson G, Ristagno G, Caggegi GD, i wsp. Impact of 'synchronous' and 'asynchronous' CPR modality on quality bundles and outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients. Intern Emerg Med. 2019; 14(7):1129-1137. doi: 10.1007/s11739-019-02138-9.
25. Maisch S, Gamon E, Ilisch A, Goetz AE, Schmidt GN. Comparison of the over-the-head, lateral and alternating positions during cardiopulmonary resuscitation performed by a single rescuer with a bag--valve--mask device. Emerg Med J. 2011; 28(11):974-8. doi: 10.1136/emj.2010.098251.
26. Merchant RM, Topjian AA, Panchal AR. Part 1: Executive Summary: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation. 2020; 142(16_suppl_2):S337-S357. doi: 10.1161/CIR.0000000000000918.
27. Majer J, Jaguszewski MJ, Frass M, i wsp. Does the use of cardiopulmonary resuscitation feedback devices improve the quality of chest compressions performed by doctors? A prospective, randomized, cross-over simulation study. Cardiol J. 2019; 26(5):529-535. doi: 10.5603/CJ.a2018.0091.

28. Smereka J, Szarpak L, Czekajlo M, i wsp. The TrueCPR device in the process of teaching cardiopulmonary resuscitation: A randomized simulation trial. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(27):e15995. doi: 10.1097/MD.00000000000015995.
29. Wik L., Thowsen J., Steen PA.: An automated voice advisory manikin system for training in basic life support without an instructor. A novel approach to CPR training. *Resuscitation*. 2001; 50: 167-172.
30. Magliocca A, Olivari D, De Giorgio D, I wsp. LUCAS Versus Manual Chest Compression During Ambulance Transport: A Hemodynamic Study in a Porcine Model of Cardiac Arrest. *J Am Heart Assoc*. 2019; 8(1):e011189. doi: 10.1161/JAHA.118.011189.
31. Putzer G, Braun P, Zimmermann A, I wsp. LUCAS compared to manual cardiopulmonary resuscitation is more effective during helicopter rescue-a prospective, randomized, cross-over manikin study. *Am J Emerg Med*. 2013; 31(2):384-9. doi: 10.1016/j.ajem.2012.07.018.
32. Ball J, Nehme Z, Bernard S, Stub D, Stephenson M, Smith K. Collateral damage: Hidden impact of the COVID-19 pandemic on the out-of-hospital cardiac arrest system-of-care. *Resuscitation*. 2020; 156:157-163. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.09.017.
33. Marijon E, Karam N, Jost D, i wsp. Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic in Paris, France: a population-based, observational study. *Lancet Public Health*. 2020; 5(8):e437-e443. doi: 10.1016/S2468-2667(20)30117-1.
34. Ortiz FR, Fernández Del Valle P, Knox EC, I wsp. Influence of the Covid-19 pandemic on out-of-hospital cardiac arrest. A Spanish nationwide prospective cohort study. *Resuscitation*. 2020; S0300-9572 (20) 30505-0. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.09.037.
35. Hons MR, Gale Hons CP, Curzen Hons N, I wsp. Impact of Coronavirus Disease 2019 Pandemic on the Incidence and Management of Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Patients Presenting With Acute Myocardial Infarction in England. *J Am Heart Assoc*. 2020; 9(22):e018379. doi: 10.1161/JAHA.120.018379.
36. Semeraro F, Gamberini L, Tartaglione M, I wsp. Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 era in Bologna: System response to preserve performances. *Resuscitation*. 2020; 157:1-2. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.09.032.

37. Martín Rodríguez F, Fernández Pérez C, Castro Villamor M, Martín Conty JL, Arnillas Gómez P, Casado Vicente V. Does level D personal protective equipment guard against hazardous biologic agents during cardiopulmonary resuscitation? *Emergencias*. 2018; 30(2):119-122.
38. Chen J, Lu KZ, Yi B, Chen Y. Chest Compression With Personal Protective Equipment During Cardiopulmonary Resuscitation: A Randomized Crossover Simulation Study. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(14):e3262. doi: 10.1097/MD.0000000000003262.
39. Ciceri F, Beretta L, Scandroglio AM, I wsp. Microvascular COVID-19 lung vessels obstructive thromboinflammatory syndrome (MicroCLOTS): an atypical acute respiratory distress syndrome working hypothesis. *Crit Care Resusc*. 2020; 22(2):95-97.
40. Renzi S, Landoni G, Zangrillo A, Ciceri F. MicroCLOTS pathophysiology in COVID 19. *Korean J Intern Med*. 2020 Sep 9. doi: 10.3904/kjim.2020.336.
41. Ludwin K, Szarpak L, Ruetzler K, i wsp. Cardiopulmonary Resuscitation in the Prone Position: A Good Option for Patients With COVID-19. *Anesth Analg*. 2020; 131(3):e172-e173. doi: 10.1213/ANE.0000000000005049.
42. Wei J, Tung D, Sue SH, Wu SV, Chuang YC, Chang CY. Cardiopulmonary resuscitation in prone position: a simplified method for outpatients. *J Chin Med Assoc*. 2006;69:202–206.
43. Mazer SP, Weisfeldt M, Bai D, et al. Reverse CPR: a pilot study of CPR in the prone position. *Resuscitation*. 2003; 57:279–285.
44. Malysz M, Dabrowski M, Böttiger BW, i wsp. Resuscitation of the patient with suspected/confirmed COVID-19 when wearing personal protective equipment: A randomized multicenter crossover simulation trial. *Cardiol J*. 2020;27(5):497-506. doi: 10.5603/CJ.a2020.0068.
45. Małysz M, Smereka J, Jaguszewski M, i wsp. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. *Kardiol Pol*. 2020 Oct 12. doi: 10.33963/KP.15643.
46. Malysz M, Jaguszewski MJ, Szarpak L, i wsp. Comparison of different chest compression positions for use while wearing CBRN-PPE: a randomized crossover

- simulation trial. *Disaster Emerg Med J* 2020;5(3):127-133. doi: 10.5603/DEMJ.a2020.0034.
47. Dzieciatkowski T, Szarpak L, Filipiak KJ, Jaguszewski M, Ladny JR, Smereka J. COVID-19 challenge for modern medicine. *Cardiol J*. 2020;27(2):175-183. doi: 10.5603/CJ.a2020.0055.
 48. Brown E, Chan LM. Should chest compressions be considered an aerosol-generating procedure? A literature review in response to recent guidelines on personal protective equipment for patients with suspected COVID-19. *Clin Med (Lond)*. 2020 Sep;20(5):e154-e159. doi: 10.7861/clinmed.2020-0258.
 49. Castle N, Pillay Y, Spencer N. Comparison of six different intubation aids for use while wearing CBRN-PPE: a manikin study. *Resuscitation*. 2011 Dec;82(12):1548-52. doi: 10.1016/j.resuscitation.2011.06.020.
 50. Castle N, Owen R, Clarke S, Hann M, Reeves D, Gurney I. Does position of the patient adversely affect successful intubation whilst wearing CBRN-PPE? *Resuscitation*. 2010 Sep;81(9):1166-71. doi: 10.1016/j.resuscitation.2010.05.009.
 51. Szarpak L, Truszcwski Z, Smereka J, Madziła M, Czyzewski L. Comparison of two intravascular access techniques when using CBRN-PPE: A randomized crossover manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2016 Jun;34(6):1170-2. doi: 10.1016/j.ajem.2016.03.046.
 52. Smereka J, Szarpak L, Filipiak KJ, Jaguszewski M, Ladny JR. Which intravascular access should we use in patients with suspected/confirmed COVID-19? *Resuscitation*. 2020 Jun;151:8-9. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.04.014
 53. Szarpak L, Truszcwski Z, Gałazkowski R, Czyzewski L. Comparison of two chest compression techniques when using CBRN-PPE: a randomized crossover manikin trial. *Am J Emerg Med*. 2016 May;34(5):913-5. doi: 10.1016/j.ajem.2016.02.029.
 54. Claret PG, Asencio R, Rogier D, et al. Comparison of Miller and Airtraq laryngoscopes for orotracheal intubation by physicians wearing CBRN protective equipment during infant resuscitation: a randomized crossover simulation study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2016; 24:35. doi: 10.1186/s13049-016-0228-1.
 55. Böttiger BW, Semeraro F, Wingen S. "Kids Save Lives": Educating Schoolchildren in Cardiopulmonary Resuscitation Is a Civic Duty That Needs Support for

- Implementation. *J Am Heart Assoc.* 2017; 6(3):e005738. doi: 10.1161/JAHA.117.005738.
56. Semeraro F, Wingen S, Schroeder DC, i wsp. KIDS SAVE LIVES-Three years of implementation in Europe. *Resuscitation.* 2018; 131:e9-e11. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.08.008.
 57. Putzer G, Fiala A, Braun P, i wsp. Manual versus Mechanical Chest Compressions on Surfaces of Varying Softness with or without Backboards: A Randomized, Crossover Manikin Study. *J Emerg Med.* 2016; 50(4):594-600.e1. doi: 10.1016/j.jemermed.2015.10.002.
 58. Smereka J, Iskrzycki Ł, Makomaska-Szaroszyk E, i wsp. The effect of chest compression frequency on the quality of resuscitation by lifeguards. A prospective randomized crossover multicenter simulation trial. *Cardiol J.* 2019;26(6):769-776. doi: 10.5603/CJ.a2018.0121.
 59. Liu S, Vaillancourt C, Kasaboski A, Taljaard M. Bystander fatigue and CPR quality by older bystanders: a randomized crossover trial comparing continuous chest compressions and 30:2 compressions to ventilations. *CJEM.* 2016 Nov;18(6):461-468. doi: 10.1017/cem.2016.373.
 60. Ćwiertnia M, Kawecki M, Ilczak T, i wsp. Comparison of standard and over-the-head method of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation - a simulation study. *BMC Emerg Med.* 2019 Nov 26;19(1):73. doi: 10.1186/s12873-019-0292-8.
 61. Nasiri E, Nasiri R. A comparison between over-the-head and lateral cardiopulmonary resuscitation with a single rescuer by bag-valve mask. *Saudi J Anaesth.* 2014 Jan;8(1):30-7. doi: 10.4103/1658-354X.125923.
 62. Konski R, Cieciel M, Madziala M, Madziala A. Impact of a CPRMeter feedback device on chest compression quality performer by nurses: A randomized crossover study. *Am J Emerg Med.* 2018 Dec;36(12):2321-2322. doi: 10.1016/j.ajem.2018.04.022.
 63. Katipoglu B, Madziala MA, Evrin T, i wsp. How should we teach cardiopulmonary resuscitation? Randomized multi-center study. *Cardiol J.* 2019 Sep 30. doi: 10.5603/CJ.a2019.0092.
 64. Fox J, Fiechter R, Gerstl P, i wsp. Mechanical versus manual chest compression CPR under ground ambulance transport conditions. *Acute Card Care.* 2013; 15(1):1-6. doi: 10.3109/17482941.2012.735675.

65. Khan SU, Lone AN, Talluri S, Khan MZ, Khan MU, Kaluski E. Efficacy and safety of mechanical versus manual compression in cardiac arrest - A Bayesian network meta-analysis. *Resuscitation*. 2018; 130:182-188. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.05.005.
66. Gao C, Chen Y, Peng H, Chen Y, Zhuang Y, Zhou S. Clinical evaluation of the AutoPulse automated chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest in the northern district of Shanghai, China. *Arch Med Sci*. 2016; 12(3):563-70. doi: 10.5114/aoms.2016.59930.
67. Bonnes JL, Brouwer MA, Navarese EP, i wsp. Manual Cardiopulmonary Resuscitation Versus CPR Including a Mechanical Chest Compression Device in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Comprehensive Meta-analysis From Randomized and Observational Studies. *Ann Emerg Med*. 2016; 67(3): 349-360.e3. doi: 10.1016/j.annemergmed.2015.09.023.
68. Koster RW, Beenen LF, van der Boom EB, I wsp. Safety of mechanical chest compression devices AutoPulse and LUCAS in cardiac arrest: a randomized clinical trial for non-inferiority. *Eur Heart J*. 2017; 38(40):3006-3013. doi: 10.1093/eurheartj/ehx318.