

DERLEME / REVIEW

KARDİYOPULMONER RESÜSİTASYONDA MEKANİK KOMPRESYON CİHAZLARININ YERİ

THE PLACE OF MECHANICAL COMPRESSION DEVICES IN CARDIOPULMONARY RESUSCITATION

Nurcan DORUK

Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

Mersin University Faculty of Medicine, Department of Anesthesiology and Reanimation, Mersin, Turkey

ÖZET

Kardiyopulmoner Resüsitasyonda yaşam kurtarma zincirinin ikinci halkasını oluşturan göğüs kompresyonlarının etkin bir şekilde yapılması hastanın nörolojik sekel olmaksızın hayatta kalmasını arttırmaktadır. Göğüs kompresyonlarının daha etkin bir şekilde yapılmasını sağlamak ve manuel kompresyonun yorucu etkisini ortadan kaldırmak amacıyla mekanik kompresyon cihazları geliştirilmiştir.

1960'lı yılların başlarından itibaren büyük bir ivme kazanan mekanik kompresyon cihazları yıllar içerisinde farklılıklar göstermektedir. Bu derleme ile mekanik kompresyon cihazlarının tarihsel gelişimi, teknik ve fizyolojik özellikleri, avantaj, dezavantajları, kullanım endikasyonları ve komplikasyonlarının anlatılması planlandı.

ANAHTAR KELİMELE: Kardiyopulmoner resüsitasyon, Mekanik kompresyon cihazı, Resüsitasyon kılavuzları

SUMMARY

Performing the chest compressions forming the second ring of life-saving chain in cardiopulmonary resuscitation effectively improves patient's survival without neurological sequelae. Mechanical compression devices have been developed to ensure performing chest compressions in a more effective way and eliminate the exhausting effect of manual chest compressions.

Mechanical compression devices that gain a great acceleration since the beginning of the 1960s illustrates the differences over the years. With this review, explaining the historical development of mechanical compression devices, technical and physiological characteristics, advantages and disadvantages, indications for use and complications is planned.

KEY WORDS: Cardiopulmonary resuscitation, Mechanical compression devices, Resuscitation guidelines

GİRİŞ

Kardiyopulmoner resüsitasyon (KPR) sırasında göğüs kompresyonlarının kesintisiz ve etkili yapılmasının nörolojik sekel oluşturmaksızın sağ kalımı arttırdığı bilinmektedir. Bu durum resüsitasyon algoritmalarında da özellikle vurgulanmaktadır (1). Ancak optimal şartlarda yapılan göğüs kompresyonlarında bile beyin kan akımının % 30-40'ı, koroner kan akımının ise ancak % 10-20'si sağlanabilmektedir (2). Ayrıca manuel göğüs kompresyonlarının yorucu olduğunu unutmamak gerekir. Etkili kompresyonların sağlanabilmesi için her 2 dk. da bir kompresyon yapan kişinin değiştirilmesi gerekir (1). Hem daha iyi hemodinami sağlamak hem de manuel kompresyonların zorluğunu ortadan kaldırmak amacıyla bir takım cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlara mekanik kompresyon cihazları denilmektedir.

Bu cihazların tarihsel gelişimlerine baktığımızda ilk defa 1908 yılında Pike ve ark.'ları köpeklerin resüsitasyonunun zor olması nedeniyle Prof. J.L. Kessler tarafından geliştirilen hem internal hem de eksternal kalp masajı uygulayan mekanik kompresyon cihazını kullanmışlardır (3). Ancak bu aletin kullanımının manuel kompresyonlara üstünlüğünün olmaması üzerine kullanımı bırakılmıştır.

1960'lı yılların başına kadar sadece açık kalp masajı biliniyorken, 1960 yılında Kowenhoven ve ark.'ları kapalı göğüs masajını tanımlamışlardır (4). Böylece kapalı göğüs masajı için bir takım cihazlar geliştirilmeye başlanmıştır. 1960 ve 1970 yılları arasında geliştirilen cihazlarda sadece göğüs kompresyonu yapılması hedeflenmiştir. Bu cihazlar sıklıkla sert bir zemine veya sed-

Çıkar çatışması/Conflict of Interest: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir./ Authors do not report any conflict of interest.

Geliş tarihi/Received: 16/10/2016

Kabul tarihi/Accepted: 19/10/2016

Yazışma Adresi (Correspondence):

Dr. Nurcan Doruk, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon AD. 33343, Yenişehir, Mersin, Türkiye

E-posta (E-mail): nurecandoruk@gmail.com

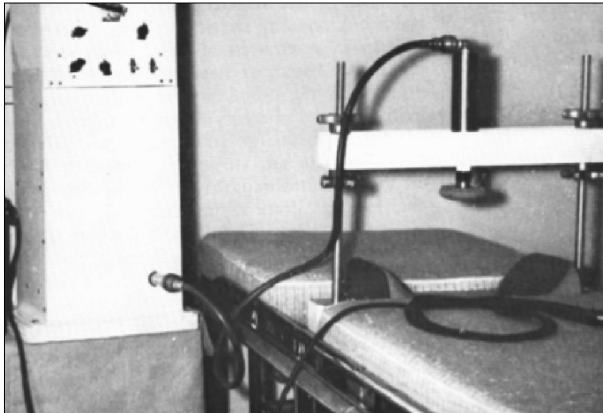
yeye monte edilen ve ortasında kompresyon yapmaya yarayan bir pistondan oluşmaktaydı (Resim 1) (5). Sabit ve ağır olması nedeniyle daha çok hastane içi kardiyak arrestlerde kullanılmıştır. Daha sonra cihazlara EKG, defibrilatör ve solunumu destekleyen aparatlar eklenmiştir. Safar ve ark.'ları bu yıllarda Beck-Rand eksternal kalp masajı cihazı ile ilgilenmişlerdir (Resim 2) (5). Ancak aletin hazırlanması, uygulanması ve ayarlanması için harcanılan zaman nedeniyle resusitasyonun başlamasında gecikmeye neden olduğu gözlenmiştir. Bunun üzerine Safar ve ark.'ları bu cihazların kullanımının sadece uzamış resusitasyon gereken durumlarda değerli olduğunu ifade etmişlerdir (6). Bu dönemdeki mekanik kompresyon cihazları manuel KPR'ye üstünlüğünün olmaması ve komplikasyonlarının fazla olması (sternum kırıkları, karaciğer, dalak rüptürü) nedeniyle rağbet görmemiştir.

1970 ve 1980 yılları arasında geliştirilen cihazlarda kompresyon derinliği ve hızı da işin içine katılmış ve cihazın dizaynında da değişiklikler yapılarak yelek KPR oluşturulmuştur.

1990'lı yılların sonlarına doğru ise hemodinamiyi daha iyi sağlayacak cihazlar yapılmıştır. Bir kurtarıcının tesadüf eseri babasını lavabo pompası ile resüsite ederek hayatını kurtarmasından esinlenerek aktif dekompresyon sağlayan cihazlar yapılmıştır.

MEKANİK KOMPRESYON CİHAZLARI

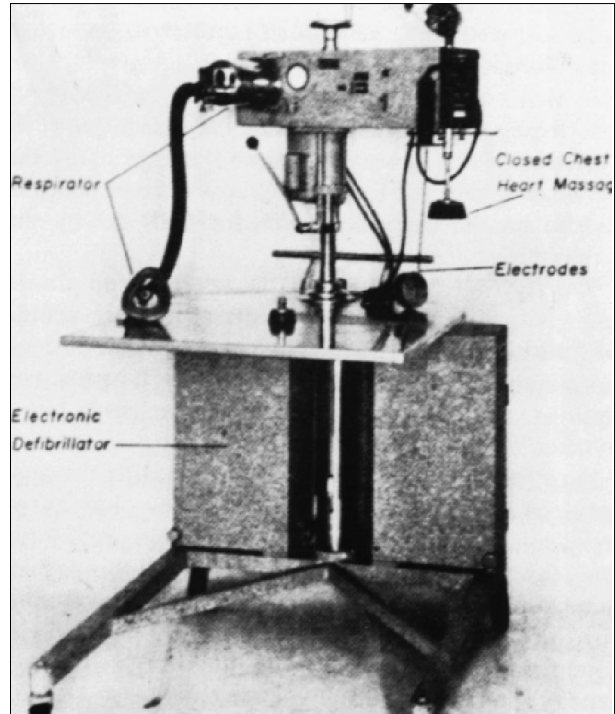
- Minimal invaziv kardiyak masaj
- Göğüs ve abdominal kompresyon cihazı
- KPR yeleği veya yük dağıtıcı bant
- Aktif kompresyon-dekompresyon cihazları
- İnspiratuvar empedans eşik valfi olmak üzere 5 grupta toplayabiliriz.



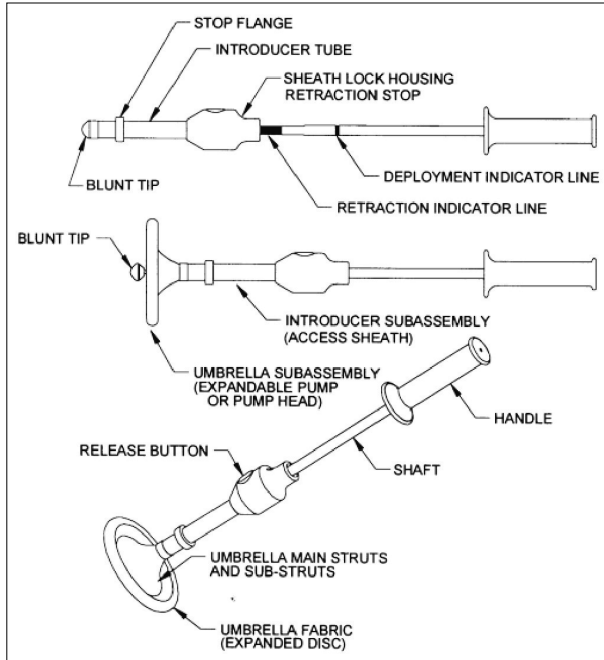
Resim 1. Mekanik göğüs piston cihazı

Minimal invaziv kardiyak masaj

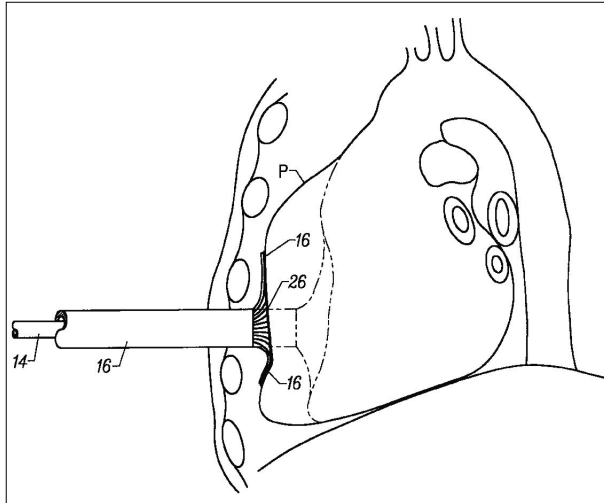
Açık kalp masajının serebral ve koroner perfüzyonu kapalı kalp masajına göre daha iyi artırdığı bilinmektedir (7). Ancak açık kalp masajı major torakotomi gerektirmektedir. Buradan yola çıkarak minimal invaziv kalp masajı aleti (MİKMA) geliştirilmiştir. Yaklaşık 40 cm uzunluğunda bir handle ve şafttan oluşmaktadır. Dış çapı 1.33 cm'dir. Ucunda şemsiye şeklinde açılan (8 cm çapında) bir disk vardır (Resim 3) (8). Şaft üzerindeki çıkıntı aletin cilde tutunarak daha fazla içeriye girmesini önlemektedir. Cihaz göğsün sol ön tarafından 4. veya 5. İnterkostal aralıktan yaklaşık 4 cm'lik kesiden sokularak sol ventrikül üzerine yerleştirilir (Resim 4) (8). Şemsiye açıldığında sol ventrikülü tamamen kaplar. Şaftın ileri geri hareketleriyle kompresyon dekompresyon uygulanır (Resim 5) (8). Buckman ve ark.'ları MİKMA'ni domuzlarda kullanmışlar ve açık kalp masajı ile karşılaştırmışlar. Sistemik ve metabolik yanıtlar her iki grupta da benzer bulunmuş (9). Ayrıca cihaz üzerine defibrilatör elektrodu yerleştirilerek daha az enerji düzeyleri ve transtorasik empedans gibi sorunlar olmaksızın defibrilasyon olanağı sağlar. Cihazı sadece hekimler değil, eğitim almış paramediklerin de uygulayabileceği bildirilmektedir (8, 9, 10). Daha az yorucu, hasta transferi sırasında kullanılabilir, eğitimli personel tarafından yerleşimi kolay olmasına rağmen ventrikül rüptürü ve kanamaya neden olabilir. Ayrıca cihaz çıkarıldıktan sonra torakotomi tüpü yerleştirmek gerekebilir.



Resim 2. Beck-Rand eksternal kalp masajı aleti



Resim 3. Minimal invaziv kalp masaj aleti

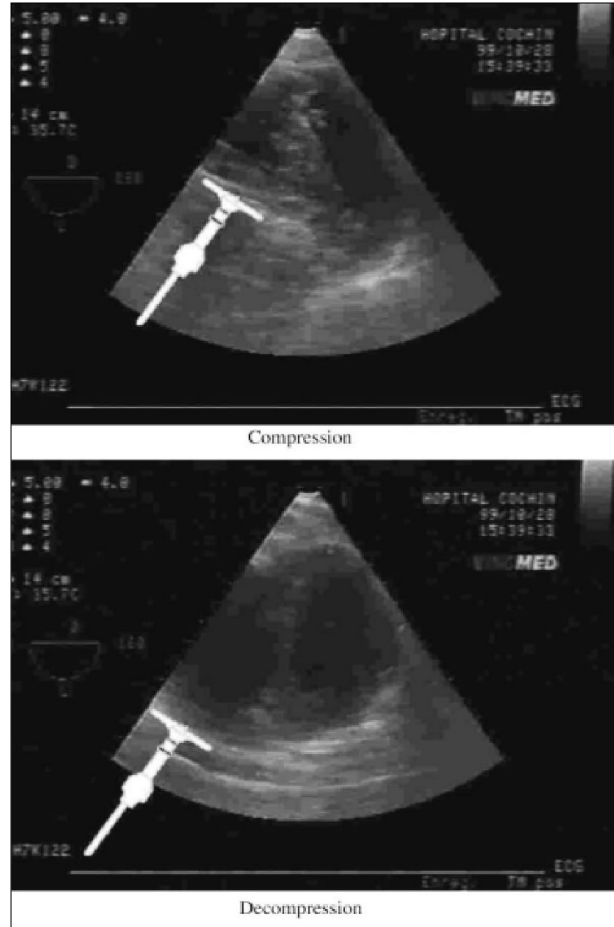


Resim 4. MİKMA'nin yerleştirilmesi

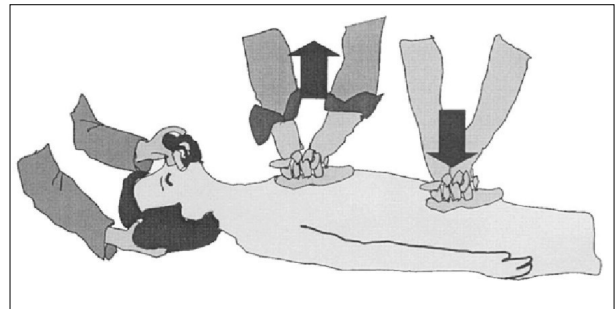
Göğüs ve abdominal kompresyon cihazı

İlk defa 1972 yılında Molokhia ve ark.'ları tarafından tanımlanmıştır (11). 3 kişi ile uygulanır (Resim 6) (12), bir kişi göğüs kompresyonu ve bir kişi manuel olarak abdominal kompresyon yapar. Abdominal kompresyonda eller ksifoid ile umblikus arasına yerleştirilir ve göğüs masajı ile zıt olarak uygulanır. Ellerin pozisyonu, derinlik, ritim ve hız göğüs kompresyonuna benzer ve gereken kuvvet abdominal aorta palpe edilerek onun üstüne yapılmalıdır. Üçüncü kişi ventilasyondan sorumludur.

Bu tekniği daha kolay uygulamak için yine manuel olarak uygulanan bir alet geliştirilmiştir (Life Stick) (Resim 7) (13). Böylece üç yerine iki uygulayıcı ile de

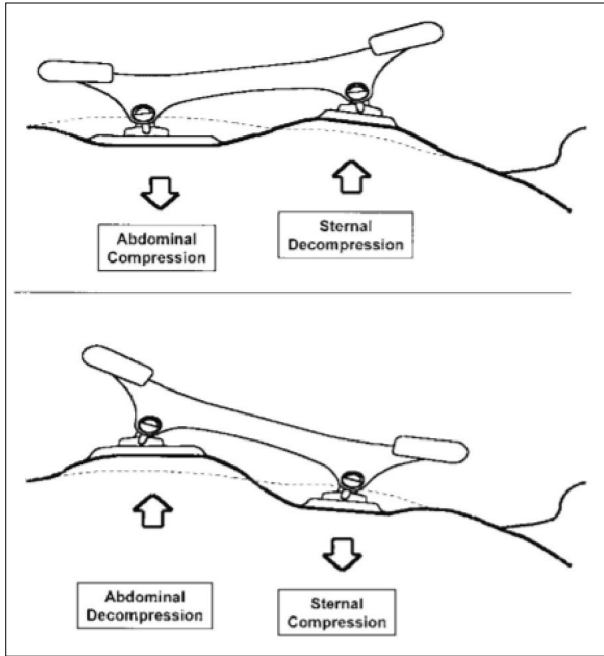


Resim 5. MİKMA'nın kompresyon dekompresyon esnasında radyolojik görüntüleri



Resim 6. Manuel göğüs abdominal kompresyon

uygulanma olanağı vardır. Senkronizasyon daha iyi sağlanmaktadır. İki geniş yapışkan paletten oluşur. Sert bir yapıdır. Paletlerden bir tanesi sternuma ve diğeri de epigastriuma yerleştirilir. Sallanan tahterivalli hareketi yaptırılır. Fizyolojik olarak diyastolik aortik kan basıncı ve venöz dönüş artırılır. Sonuçta koronerlere ve diğer hayati organlara giden kan akımı artırılır. Cihaz basit olmakla beraber özel eğitim ve efor gerektirir. Bu teknikte hastalar KPR'ye başlamadan hemen önce veya başladıktan hemen sonra entübe edilmelidir.



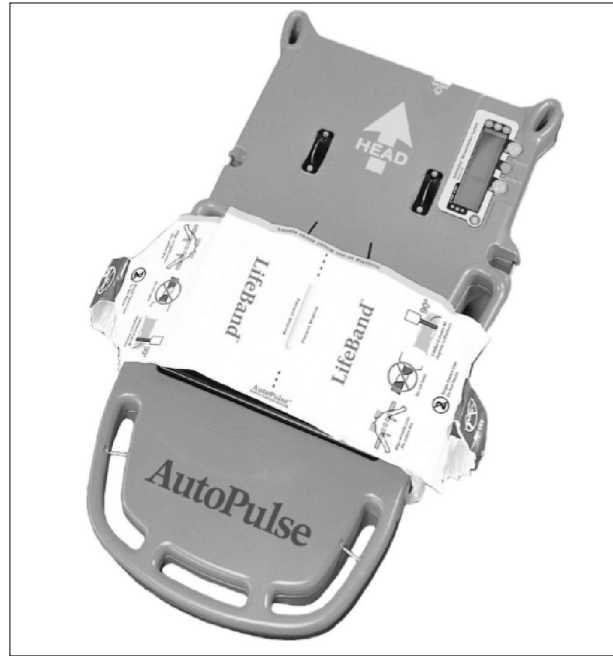
Resim 7. Life Stick

Mekanik model çalışmalarında tekniğin % 100 başarıldığı gösterilmiştir (14). Hayvan çalışmaları da mekanik modelleri desteklemektedir. Karotid arter akımı, reyonel kan akımı, koroner perfüzyon basıncı, kardiyak output ve oksijen sunumu artar (14). Bu teknikle ilgili olarak 3 büyük randomize kontrollü çalışma (RKÇ) mevcuttur (14, 15, 16). Çalışmaların 2'si olumlu, bir tanesi olumsuz sonuçlanmıştır. Çalışmanın olumsuz olma nedeni hastane dışı eğitimsiz personelin uygulamasına bağlanmaktadır. Erişkinlerde bildirilen herhangi bir komplikasyon olmamasına rağmen 1 çocuk olgu da travmatik pankreatitis bildirilmiştir. Erken entübasyon nedeniyle aspirasyon olguları bildirilmemiştir.

KPR yeleği veya yük dağıtıcı bant

Toraksın etrafını saran kapalı bir yelek şeklindedir ve ritmik olarak iner ve şişer. Bu teknikte sadece kalp üzerine masaj uygulanmamakta aynı zamanda toraksa da masaj uygulandığı için venöz dönüşü artırdığı dolayısıyla daha iyi doku perfüzyonu sağladığı bildirilmiştir (17).

AutoPulse; günümüzde kullanılan KPR yelek örneklerindendir (Resim 8) (18). Geniş bir sırt tahtası ve göğsü saran banttan (tüm göğüs kafesini kapsayan ayarlanabilir bir banttır) oluşur. Pille çalışan bataryası (motoru çalıştırır) ve kontrol bilgisayar paneli vardır (yaklaşık 11 kg'dır). Toraksın etrafını saran kapalı bir yelek şeklindedir. Baş, omuzlar ve sırtın üst kısmı üstte kalır. Hastanın üstüne yelek sarıldıktan sonra start düğmesine basılır. LifeBand, göğüs çevresini saracak şekilde sıkılaşır ve hastanın göğüs büyüklüğünü, direncini belirler. Dakikada 80 kompresyon



Resim 8. Yelek KPR cihazı (Autopulse)

olacak şekilde ritmik tüm göğüs kafesine (ön arka derinliği % 20 çöktürecek şekilde) kompresyon dekompresyon uygulamaya başlar. LifeBand defibrilasyon pedleri üzerine yerleştirilebilir. Tek kullanımlıdır.

Bu aletin kullanımı ile ilgili olarak klinik çalışma sonuçları çelişkilidir (19, 20, 21). Hallstrom ve ark.'ları hastane dışı kardiyak arrest olgularında manuel KPR ile manuel KPR'ye eklenen Autopulse'ı karşılaştırmışlar (20). Beş merkezin dahil edildiği çalışma sonucunda ilk 4 saatte hayatta kalma oranlarında gruplar arasında fark saptanmadı. Ancak yaşayanlar arasında nörolojik durum ve hastaneden taburcu olma süreleri arasında manuel KPR uygulanan grubun daha iyi olması nedeniyle çalışma güvenlik açısından sonlandırılmış. Çalışma dizaynı tekrar gözden geçirildiğinde merkezlerden birisinin çalışma protokolünü yanlış uyguladığı fark edilmiş. Lerner ve ark.'ları yaptıkları çalışmada metodolojik hata yaşamamak için güvenli bir çalışma protokolü geliştirmişler (21). Çalışma sonucunda Autopulse KPR ile manuel KPR'nin birbirlerine üstünlükleri olmadığını saptamışlar ve manuel KPR'nin etkili uygulanmadığı durumlarda eğitilmiş kişiler tarafından Autopulse KPR'nin güvenle uygulanılabileceğini bildirmişlerdir (21).

Aktif kompresyon dekompresyon cihazları

Tesadüf eseri bir kurtarıcının babasını lavabo pompası ile resüsite etmesi hayata döndürmesi üzerine geliştirilmişlerdir. Aktif göğüs dekompresyonu yapmaları venöz dönüşü arttırmakta, kardiyak output artmakta ve organ perfüzyonu daha iyi olmaktadır. Bu cihazlar manuel veya otomatik olabilir.

Manuel olarak uygulanan kardiyopomp cihazı (Resim 9) (yaklaşık 0.5 kg) el ile kullanılan lavabo pompasını andıran silikon yüzeyi sayesinde aktif dekompresyon yapar. Sternumun ortasına yerleştirilir. Kurtarıcı gücüne bağlıdır, aktif itme ve çekme hareketi yapar. Aktif çekme yani dekompresyon safhasında göğüs kavitesinde negatif basınç oluşturur, böylece torasik kavite içerisine kan akımı artar venöz dönüş artar ve dolayısıyla kardiyak outputun artışıyla koroner ve serebral perfüzyon artar.

Otomatik aktif kompresyon dekompresyon uygulayan cihazlardan biri olan ve İsviçre’de Lund Üniversitesinde oluşturulan LUCAS 2’dir (Resim 10). Yaklaşık ağırlığı (çanta ile birlikte) 8.5 kg olan cihaz sırt tahtası ve kompresyon uygulayan parça olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Uygulayıcı cihazı çantadan çıkarmadan çalıştırılmalıdır. Bu arada manuel KPR’ye başlanılmalıdır. Önce sırt tahtası daha sonra diğer parça yerleştirilir. Cihazın pompa kısmı sternumun tam ortasına ksifoidin 2 cm kadar üstüne yerleştirilir. Cihaz dakikada 100 kompresyon veya 30:2 şeklinde kompresyon uygulamaya başlar.

Aktif kompresyon dekompresyon cihazları ile ilgili olarak yapılan Cochrane meta analizinde hastane içi kardiyak arrest olgularında manuel KPR’ye üstünlüğü gösterilememiştir (22, 23). Hastane dışı kardiyak arrest durumunda sonuçlar çelişkilidir (22). Sonuç olarak aktif kompresyon dekompresyon cihazlarının kullanımı komplike, manuel olanlar daha fazla fiziksel çaba gerektirmekte, otomatik cihazlarda komplikasyon daha fazla ve defibrilasyon uygulanması gereken durumlar sorun olabilmektedir. Aktif kompresyon dekompresyon cihazları; kurtarıcının hastaya ulaşımı sınırlı ise, uzamış KPR

durumunda, hipotermik kardiyak arrestte, ambulans transfer sırasında, anjiyografi ünitesinde ve E-KPR hazırlığı sırasında kullanılabilir.

İnspiratuvar empedans eşik valfi

Mekanik kompresyon yapma özellikleri yok ancak KPR’nin dekompresyon fazında AC’e hava girişini sınırlar (Resim 11). Göğüs duvarının genişlemesi sırasında negatif intratorasik basıncı artırır, kalbe venöz dönüşü artırır. Daha iyi organ perfüzyonu sağlar (24). Pozitif basınçlı ventilasyonu engellemez. Ancak spontan solunum döner dönmez cihaz çıkarılmalıdır. ETT, LMA veya yüz maskesine adapte edilebilir. Tek başına Manuel KPR sırasında veya diğer cihazlarla kombine olarak kullanılabilir.

Klinik kullanımı ile olumlu sonuçlar alındığı çalışmalarda belirtilmekte ancak hala RKÇ’lara gereksinim duyulmaktadır (24, 25).

ERC (European Resuscitation Council: Avrupa Resusitasyon Konseyi) önerileri (1)

► Rutin olarak göğüs kompresyon cihazlarının kullanımı önerilmiyor

► Eğer manuel göğüs kompresyonları yüksek kaliteli değilse, hasta güvenliğini sağlayamıyorsa alternatif olarak kullanılabilir

► Kapsamlı beceri eğitimleri verilmeli ve düzenli aralıklarla tekrarlanmalı

AHA (American Heart Council: Amerikan Kalp Birliği) önerileri (26)

Manuel KPR sırasında rutin olarak inspiratuvar empedans eşik valfi kullanımı önerilmemektedir. Aktif kompresyon dekompresyon sırasında ise inspiratuvar eşik valfi kullanımı rutin önerilmiyor. Ancak eğitimli personel ve cihazların varlığında kullanılabilir.



Resim 9. Manuel aktif kompresyon dekompresyon cihazı (Kardiyopomp)



Resim 10. Otomatik aktif kompresyon dekompresyon cihazı (LUCAS 2)



Resim 11. İnspiratuvar empedans eşik valfi

Mekanik piston cihazlarının başarısı henüz kanıtlanmamıştır. Ancak eğitimli personel varlığında kullanılabilir. Mekanik piston cihazları bazı özel durumlarda (transfer, uzamış KPR, hipotermi, anjiyo laboratuvarında, E-KPR hazırlığı sırasında) kullanılabilir.

Yelek KPR, ancak eğitimli personel varlığında kullanılabilir. Yukarıda belirtilen özel durumlar yelek KPR cihazı için de geçerlidir.

Açık kalp masajı ve göğüs abdomen kompresyonu için 2015'te yeni öneri yok. Ancak 2010 yılında açık kalp cerrahisi esnasında, göğüs ve abdomenin açık olduğu durumlarda, erken postoperatif kardiyotorasik cerrahi sonrası veya penetran travmalı ve kısa sürede hastaneye transfer edilecek hastalara açık kalp masajının yapılabileceği bildirilmiştir.

Göğüs abdominal kompresyon cihazının ise ancak eğitimli personel varlığında hastane içi kardiyak arrestlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

SONUÇ

Sonuç olarak mekanik kompresyon cihazlarının birbirlerine üstünlükleri ile ilgili çalışmalar yoktur. Mekanik kompresyon cihazlarının hemodinamiyi olumlu etkiledikleri kesinlikle gösterilmiş olmasına rağmen manuel

KPR'ye üstünlükleri henüz kanıtlanamamıştır. Cihazların kullanımı ile ilgili olarak eğitimler verilmeli ve düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Ayrıca cihazın hazırlık aşamasında mutlaka manuel KPR uygulanmalı. Göğüs kompresyonları asla kesintiye uğratılmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P et al. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. Resuscitation 2015; 95: 100-147.
2. Paradis NA, Martin GB, Rivers EP, et al. Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation. JAMA 1990; 263: 1106-1113.
3. Pike FH, Guthrie CC, Stewart GN. Studies in resuscitations: of the blood and of the heart. J Exp Med 1908; 10: 371-418.
4. Kowenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed chest cardiac massage. JAMA 1960; 173: 1064-1067.
5. Russel HP. A history of mechanical devices for providing external chest compressions. Resuscitation 2007; 73: 330-336.
6. Safar P, Harris L. The beck-Rand external cardiac compression machine. Anesthesiology 1963; 24: 586-588.
7. Barlett RL, Stewart NJ, Raymond J, Anstadt GL, Martin SD. Comparative study of three methods of resuscitation: Closed-chest, open-chest manual and direct mechanical ventricular assistance. Ann Emerg Med 1984; 13: 773-779.
8. Rozenberg A, Incagnoli P, Delpech P, et al. Prehospital use of minimally invasive direct cardiac massage (MID-CM): a pilot study. Resuscitation. 2001; 50: 257-262.
9. Buckmann RF, Badellino MM, Eynon CA, et al. Open-chest cardiac massage without major thoracotomy: metabolic indicators of coronary and cerebral perfusion. Resuscitation. 1997; 34: 247-253.
10. Hanouz JL, Thuaudet S, Ramakers M, et al. Insertion of the minimally invasive direct cardiac massage device (MIDCM): training on human cadavers. Resuscitation. 2002; 52: 49-53.
11. Molokhia FA, Ponn RB, Robinson WJ, Asimacopoulos PI, Norman JC. A method of augmenting coronary perfusion pressure during internal cardiac massage. Ches 1972; 62: 610-613.
12. Sack JB, Kesselbrenner MB, Bregman D. Survival from in hospital cardiac arrest with interposed abdominal counter pulsation during cardiopulmonary resuscitation. J Am Med Assoc 1992; 267: 379-385.
13. Arntz HR, Agrawal R, Richter H, et al. Phased Chest and Abdominal Compression-Decompression Versus Conventional Cardiopulmonary Resuscitation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. Circulation 2001; 104: 768-772.
14. Charles F. Babbs. Interposed abdominal compression CPR: a comprehensive evidence based. Resuscitation 2003; 59: 71-82.
15. Sack JB, Kesselbrenner MB, Jarrad A. Interposed abdominal compression-cardiopulmonary resuscitation and resuscitation outcome during asystole and electromechanical dissociation. Circulation 1992; 86:1692-1700.
16. Mateer JR, Stueven HA, Thompson BM, Aprahamian C, Darin JC. Pre-hospital IAC-CPR versus standard CPR: paramedic resuscitation of cardiac arrests. Am J Emerg Med 1985; 3: 143-146.

17. Timermana S, Cardoso LF, Ramiresa JAF, Halperinb H. Improved hemodynamic performance with a novel chest compression device during treatment of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2004; 61: 273-280.
18. Krep H, Mamier B, Martin B, Heister U, Fisher M, Hoeft A. Out of hospital cardiopulmonary resuscitation with the AutoPulse system: A prospective observational study with a new load-distributing band chest compression device. *Resuscitation* 2007; 73: 86-95.
19. Casner M, Andersen D, Isaacs M. The impact of a new CPR assist on rate of return of spontaneous circulation in out of hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 2005; 1: 61-67.
20. Hallstrom A, Rea TD, Sayre M et al. The AutoPulse Assisted Prehospital International Resuscitation (ASPIRE) trial investigators respond to inhomogeneity and temporal effects assertions. *JAMA* 2006; 295: 2620-2628.
21. Lerner EB, Persse D, Sauders CM, Sterz F, Malzer R, Lozano M et al. Design of the Circulation Improving Resuscitation Care (CIRC) Trial: a new state of the art design for out-of-hospital cardiac arrest research. *Resuscitation* 2011; 82: 294-299.
22. Lafuente CL, Bascones MM. Active chest compression-decompression for cardiopulmonary resuscitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013 20; CD002751.doi:10.1002/14651858.CD002751.
23. Tucker KJ, Galli F, Savitt MA, Kahsai D, Bresnahan L, Redberg RF. Active compression-decompression resuscitation: effect on resuscitation success after in-hospital cardiac arrest. *Journal of the American College of Cardiology* 1994; 24: 201-209.
24. Lurie K, Plaisance P, Sukhum P, Soleil C. Mechanical advances in cardiopulmonary resuscitation. *Current Opinion in Critical Care* 2001; 7: 170-175.
25. Aufderheide TP, Kudenchuk PJ, Hedges JR, et al. Resuscitation outcomes consortium (ROC) PRIMED cardiac arrest trial methods Part 1: rationale and methodology for the impedance threshold device (ITD) protocol. *Resuscitation* 2008; 78: 179-185.
26. Brooks SC, Anderson ML, Bruder E, Daya MR, Gaffney A, Otto CW, Singer AJ, Thiagarajan RR, Travers AH. Part 6: Alternative Techniques and Ancillary Devices for Cardiopulmonary Resuscitation 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care.