



Patlama yaralanmalarının gizli yüzü: Şok dalgaları

The disguised face of blast injuries: shock waves

M. Tahir ÖZER,¹ Kağan COŞKUN,¹ Gökhan İ. ÖĞÜNÇ,² Mehmet ERYILMAZ,³
Taner YİĞİT,¹ Orhan KOZAK,¹ Kanbi APAYDIN,² A. İhsan UZAR¹

AMAÇ

Patlama yaralanmaları terörist eylemlerin artışı nedeniyle sık karşılaşıldığından, oluş mekanizmalarının bilinmesi tedavide önem kazanmaktadır. Çalışmamız özellikle primer etkiden sorumlu olan şok dalgalarının etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirildi.

GEREÇ VE YÖNTEM

100 gr TNT ve 1000 gr C4 patlatılarak mankenlere olan etkileri hızlı kamerayla kaydedildi. Oluşan şok dalgaları, patlama rüzgarı ve çevreye yayılan şarapnel parçalarının hızları hesaplandı. Mankenlerin patlama sonrası durumları incelendi.

BULGULAR

Patlamalarda alev topundan sonra şok dalgasının belirdiği, hızla ilerlediği ve mankenleri makroskopik olarak etkilemeden geçtiği, sonra şarapnel parçalarının saçıldığı ve patlama rüzgarının oluştuğu gözlemlendi. Hedeflerde makroskopik etkiyi patlama rüzgarı ve şarapnel parçalarının oluşturduğu ve patlama rüzgarı ile mankenlerde parçalanmanın oluştuğu gözlemlendi. Şok dalgası hızları 6482-7194 m/sn, şarapnel hızları 1420-1752 m/sn bulundu.

SONUÇ

Şok dalgaları özellikle hava içeren organları etkiler. Akciğer hasarı, akut solunum sıkıntısı sendromu, bağırsak ve kulak perforasyonlarından sorumludur. Patlama rüzgarı yüksek yoğunluk ve hızı ile parçalayıcı etkiyi yapar. En fazla ölüm sebebi şarapnel yaralanmalarıdır. Oluşan ısıyla termal yaralanmalar oluşur. Patlamalarda dört farklı mekanizma ile yaralanmalar meydana gelmektedir. Yaralının optimum tedavisinin düzenlenebilmesi için patlama yaralanmalarının mekaniği, patofizyolojisi iyi bilinmeli ve hasta takibinin her aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Patlama yaralanmaları; şok dalgaları.

BACKGROUND

The increase in terrorist attacks has brought a profound and new knowledge of blast injuries. In order to improve our knowledge regarding the mechanisms of blast injuries, we analyzed the effects of shock waves.

METHODS

100 g TNT and 1000 g C4 were detonated and recorded by high-speed camera. Blast wind, shock wave and shrapnel speeds were calculated, and final condition of the target was examined.

RESULTS

A flash ball appeared first followed by the shock wave. Finally, blast wind occurred and shrapnel was distributed. The macroscopic structure of targets was not affected by the shock wave but was affected by shrapnel and blast wind. Shock waves created a transparent ballistic gel inside the target mat by changing its microscopic structure. The speed of the shock wave was 6482-7194 m/sn and shrapnel speed was 1420-1752 m/sn.

CONCLUSION

Shock waves especially affect the air-filled organs and cause lung injury, acute respiratory distress syndrome, and intestinal and eardrum perforation. Blast wind destroys targets due to its high speed and high density. The main cause of mortality is shrapnel injury. The high temperature created by the explosion causes thermal injuries. Being informed of the mechanisms of blast injuries will assist in providing better treatment. Additionally, consideration of all mechanisms of blast injuries will facilitate lower mortality and morbidity rates.

Key Words: Blast injuries; shock waves.

Gülhane Askeri Tıp Akademisi, ¹Genel Cerrahi Anabilim Dalı, ²Acil Tıp Anabilim Dalı, Ankara; ³Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuvarları, Ankara.

Departments of ¹General Surgery, ²Emergency Medicine, Gülhane Military Medical Academy, Ankara; ³General Directorate of Security, Criminal Police Laboratory, Ankara, Turkey.

İletişim (Correspondence): Dr. M. Tahir Özer. GATA Genel Cerrahi Anabilim Dalı, 06100 Etlik, Turkey.
Tel: +90 - 312 - 304 50 17 Faks (Fax): +90 - 312 - 304 50 00 e-posta (e-mail): mtahirozer@gmail.com

Patlayıcılarla oluşan patlama yaralanmaları terörist eylemlerin artışına paralel olarak travmayla uğraşan hekimlerin daha sık karşılaştığı bir durum haline gelmiştir. Yurtiçi ve yurtdışındaki bombalı terörist eylemler sonucu ortaya çıkan kitlesel yaralanmalar ve ölümler bunun bir göstergesidir. Bu nedenle patlama yaralanmalarının oluşma mekanizmalarının bilinmesi uygun tedavi yöntemlerinin uygulanmasında önem kazanmaktadır.

Patlama yaralanmalarının etkileri temel olarak birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül olmak üzere dört başlık altında incelenir. Birincil etki temel olarak şok dalgaları ile oluşur. İkincil etkiden şarapnel parçaları ve etrafa saçılan taş toprak parçaları sorumludur. Üçüncül etkiyi patlama gazlarının yarattığı patlama rüzgarı meydana getirir. Dördüncül etki ise termal ve kimyasal olarak ortaya çıkan yanıkları ifade eder.^[1-4]

Çalışmamız özellikle birincil etkiden sorumlu olan şok dalgalarının yaralama potansiyellerini ve etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirildi.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamız kontrollü ve değişik güçte iki ayrı patlama oluşturup patlama anlarının hızlı kamerayla saniyede 9.000 *frame* hızı ile kaydedilmesi ve daha sonra kaydedilen görüntülerin incelenip yorumlanması şeklinde dizayn edildi.

İlk denemede mayını simüle eden 100 gr TNT, insan vücudunu simüle eden ve içi balistik jel ile doldurularak 70 kg ağırlığa getirilen bir vitrin mankeninin ayakları altında patlatıldı.

İkinci denemede 1000 gr ağırlığında C4 yerden 30 cm yükseklikte yerleştirilerek açık alanda bombalı tuzak patlaması simüle edildi. Patlama noktasından iki, beş ve on metre mesafelere yerleştirilen yine ilk patlamadaki mankenlerle aynı özelliklerdeki mankenler patlama etkilerini gözlemlemek için kullanıldı.



Şekil 1. 100 gr TNT patlaması ile oluşan patlama çekirdeği.

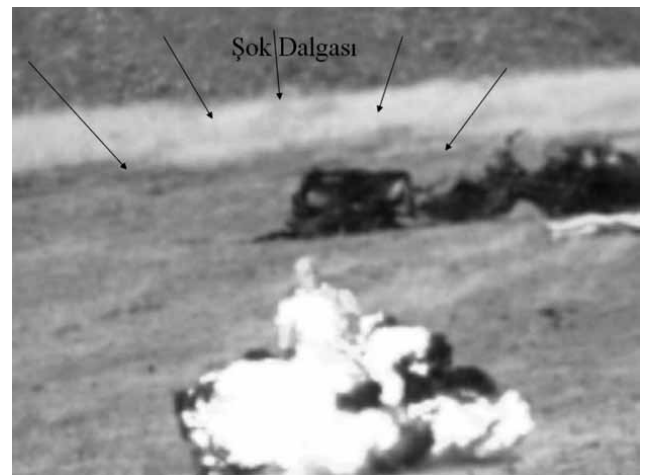
Patlamalar elektrikli füyelerle gerçekleştirildi ve patlama görüntülerinin kaydı için Photron Fastcam-APX RS2 marka hızlı dijital kamera patlama noktasından 250 metre mesafeye yerleştirilerek tele objektif ile çekimler yapıldı.

Oluşan şok dalgaları, patlama rüzgarı ve çevreye yayılan şarapnel parçalarının hızları görüntüler üzerinde aldıkları mesafe ve kayıta geçen süre ve *frame* numaraları kullanılarak hesaplandı. Mankenlerin patlama sırasındaki davranışları, patlama sonrası oluşan hasarları ve şarapnel giriş deliği sayıları incelenerek yaralanma profilleri hakkında yorumlamalar yapıldı.

BULGULAR

Antipersonel mayını simüle eden 100 gr TNT patlatıldığında ilk gözlenen alev topundan ve patlama gazlarından oluşan patlama çekirdeğinin oluşmasıydı (Şekil 1). Daha sonra yüksek hızlı şok dalgası alev topunun dışında net görünür hale geldi ve yayılmaya başladı. Şok dalgası 3,6 metre mesafeye ulaştığında 555 mikrosaniye geçmişti (Şekil 2). Bu verilerle TNT için şok dalgası hızı hesaplanınca ilk 3,6 metredeki hızının 6482 m/sn olduğu bulundu. Şok dalgası 3,6 m yol aldığı anda alev topu halen 1 m'den küçük çaptaydı. Şok dalgası 9,1 m yol aldığı anda patlama rüzgarı etkisini gösterdi ve mankene çarparak alt ekstremitede hasar oluşturdu. Aynı anda etraftaki taş ve toprak parçaları ile şarapnel parçalarının hızla etrafa yayıldığı gözlemlendi. O sırada patlamadan itibaren 1408 mikrosaniye geçmişti ve şarapnel parçaları ortalama 2 m yol almıştı. Şarapnel parçalarının 1420 m/sn hızla yayıldığı hesaplandı. Şarapnelin ve etraftaki taş parçalarının saçılmasına sebep olan kuvvet patlama rüzgarı olduğu için patlama rüzgarının da yaklaşık 1420 m/sn hızla harekete geçtiği anlaşıldı.

İkinci patlamada bombalı bir tuzağı simüle eden 1000 gr'lık C4 kalıbı sıkıştırılmadan serbest olarak yerden 30 cm yüksekliğe yerleştirildi (Şekil 3). Pat-



Şekil 2. Oluşan şok dalgası.



Şekil 3. 1000 gr C4'den oluşan bombalı tuzak ve mankenler.

lama oluşunca ilk gözlenen birinci patlamadaki gibi alev topu ve patlama gazlarından oluşan patlama çekirdeği (Şekil 4). Bu patlamada da oluşan alev topu henüz genişlemeden etrafında şok dalgası belirdi. Şok dalgası 2 metrelik çapa ulaştığında henüz 278 mikrosaniye geçmişti (Şekil 5). Hesaplamayla bu mesafedeki şok dalgası hızının C4 için 7194 m/sn olduğu bulundu. Şok dalgası 10 metre mesafedeki hedefe geldiğinde patlama rüzgarı oluştu ve ikinci metredeki ilk hedefe çarptı ve bu etki ile hedef parçalandı (Şekil 6). Oluşan patlama rüzgarının hızı patlama noktasından iki metre mesafede 1752 m/sn olarak hesaplandı. Yine aynı anda şarapnel parçalarının bu mesafeye ulaştığı izlendi ve bu mesafede şarapnel hızı ile patlama rüzgarı hızının yaklaşık olarak aynı olduğu görüldü. Bu andan itibaren başlangıçta patlama rüzgarı ile aynı hızda saçılan şarapneler patlama rüzgarı hızının kısa sürede azalması ile patlama rüzgarının önünde gitmeye ve farkı açmaya başladı. Patlama rüzgarı bu patlama için 5. metrede hızını önemli ölçüde yitirmiş ve bu mesafedeki mankeni parçalamamıştı. Ancak bu mankenin üzerinde çok sayıda şarapnel giriş deliği bulundu. Bu mesafede şarapnelin hemen hemen hiç yavaşlamadığı ve mankeni isabet edenlerin penetre olduğu ama patlama rüzgarının hızının 70 m/sn'nin altına indiği hesaplandı. Onuncu metrede bulunan üçüncü hedef patlama rüzgarından etkilenmedi ancak onunda üzerinde de şarapnel giriş delikleri bulundu. Bu mesafeye şarapnelin ulaşması 11723 mikrosaniye sürdü. Bu mesafede şarapnelin hızı 853 m/sn olarak hesaplandı.



Şekil 5. 1000 gr C4 ile oluşan şok dalgası.



Şekil 4. 1000 gr C4 ile oluşan patlama çekirdeği.

Mankenlerin vücuduna isabet eden şarapnel sayılarına bakınca ikinci metredeki mankende toplam 27 isabet bulunurken beşinci metredekinde 12 isabet ve onuncu metredekinde 2 isabet saptandı.

Patlamalardan sonra yapılan incelemelerde iki ve beşinci metrelerdeki mankenlerin içine doldurulan balistik jellerin saydamlığını yitirdiği onuncu metredeki mankende değişiklik olmadığı tespit edildi.

TARTIŞMA

Patlama yaralanmalarının derecesi kullanılan patlayıcının özelliğine ve hazırlanış şekline, patlama noktası ile kurbanın arasındaki mesafeye, patlamanın açık veya kapalı olanda olmasına göre değişiklikler gösterir. Patlayıcılarla oluşan yaralanmalarda dört ayrı tip yaralanma etkisinin görüldüğü ve bunların kümülatif etkisi ile kompleks yaralanmalar oluştuğu bilinmektedir.^[1-4] Patlama sonrasında oluşan bu yaralanma tiplerini mikrosaniyeler içindeki oluşma zamanlarına göre sıralarsak ilk önce birincil patlama yaralanması (BPY) ortaya çıkmakta ve onu ikincil, üçüncül ve dördüncül yaralanmalar izlemektedir.^[1-3] Yaralıda doktoru alarme edecek ikincil, üçüncül ve dördüncül yaralanmaya ait bulgu yoksa BPY'ye ait yaralanma ve etkilenmeler gözden kaçabilmekte ve bu durum mortaliteye kadar varan komplikasyonlara yol açabilmektedir. Veya diğer üç tip yaralanmanın bulguları BPY bulgularını maskeleyip gözden kaçmasına sebep verebilmektedir.

Patlamalar temel olarak çok hızlı cereyan eden ve sonuçta ortama aşırı miktarda gaz, ısı ve enerji yayan



Şekil 6. 1000 gr C4'ün yarattığı patlama rüzgarı tarafından mankenin parçalanması.

kimyasal reaksiyonlardır. Bu ani ve çok miktardaki gaz ve enerji çıkışı sonucunda mikrosaniyeler içinde patlama bölgesinde büyük atmosferik basınç değişiklikleri oluşur. BPY oluşumunun asıl sebebi ortaya çıkan bu atmosferik basınç değişiklikleri ve buna bağlı gelişen şok dalgalarıdır.^[1,3,5,6] Şok dalgaları patlama noktasından çevreye doğru küresel olarak hızla yayılır. Bu hız yüksek patlayıcılar için 6-8 bin metre/saniye aralığındaki oldukça yüksek değerlerdir. Şok dalgaları çok hızlı olmakla beraber dalga boyu çok kısadır ve oluşan şok dalgasının kesitsel kalınlığı da milimetrelerle ölçülecek kadar incedir.^[3]

BPY'ye ait mortalite ve morbiditeler sık görülmesine karşın patlayıcılarla oluşan diğer yaralanma tiplerine göre daha az bilinmektedir. Patlayıcı ne kadar kuvvetli ise oluşan basınç kuvveti ve şok dalga hızı o kadar yüksek ve yaralayıcı kuvveti de o kadar fazladır. C4, TNT, RDX gibi yüksek patlayıcılarla oluşan açık alan patlamalarında patlama anında patlama merkezinde oluşan basınç 200-300 kbar aralığındadır.^[7] Bu basınç, bir bar olan normal atmosferik basınç değerinin 200-300 bin kat daha fazlasıdır. Patlayıcının miktarı arttıkça oluşan bu çok yüksek basıncın etki menzili de buna paralel olarak artar.

Yapmış olduğumuz çalışmada hızlı kamera çekimleri incelendiğinde hakikaten de şok dalgalarının TNT için patlamayı takiben 555 mikrosaniyede alev topunun etrafında ve patlama noktasından 3,6 m uzakta net görünür hale geldiğini ve bu an için hızının 6482 m/sn olduğunu gördük. C4 için ise 2 m'lik mesafede 278 mikrosaniyede net görünür hale gelen şok dalgalarının hızı 7194 m/sn olarak bulundu. Film izlendiğinde şok dalgalarının üzerinden ve içinden geçtikleri hedeflerde makroskopik bir hasar oluşturmadığı ve mankenlerin bütünlüğü ve pozisyonlarını değiştirmedeği görüldü. Ancak mankenlerin sonradan yapılan ayrıntılı incelemesinde içlerine ağırlıklarının 70 kg yapmak için doldurulan ve aslında saydam olan balistik jellerin moleküler yapısının bozularak şeffaflığın kaybolduğu görüldü. Bu durum daha sonra gelen patlama rüzgarının etkisi ile parçalanmış ikinci metredeki manken için normal karşılanabilir ancak hiç kıpırdamayan ve etkilenmemiş gibi görünen beşinci metredeki mankenin etkilenmesi şok dalgasının görünmeyen gücünü yansıtmaktadır. Aynı etki onuncu metredeki mankende şok dalgası gücünün azalmasına bağlı olsa gerek gözlemlenmemiştir.

Şok dalgasından en çok etkilenen organlar hava içeren organlardır. Bunlar akciğer, orta kulak ve karında bulunan lümenli organlardır.^[1,5,6] Yapılan çalışmalarda hava dolu organların şok dalgası nedeniyle milisaniyeler içinde önce ezildiği ve sonra hemen genişleyip eski haline döndüğü gösterilmiştir. Bu durum organda aşırı yüzey gerilimleri yaratmakta ve akselerasyon/deselerasyon yaralanmaları oluşturmaktadır.^[8-10]

Yaralanma özellikle solid organa komşu ve bu organa yapışıklığı olan içi hava dolu organlarda daha fazla görülmektedir. Yine organ sıvı ve havayı aynı anda içeriyorsa organ duvarlarında oluşan yırtıcı etki daha güçlü olmaktadır. Bu duruma örnek olarak içinde içerik bulunan Treitz ligamanına yakın bir jejunum ansı ve duodenum veya splenik fleksura civarındaki bir kolon segmenti verilebilir.^[8-10] Şok dalgasının bu organlara etkisi şöyle bir örnekle anlatılabilir: Bir metal meşrubat kutusu iki parmak arasında hafifce sıkıştırılırsa bırakıldığında kutu eski şeklini alır. Ancak kuvvet belli bir noktayı geçerse kutu artık eski şeklini almaz ve o şekilde kalır. Dokularda bu durumun karşılığı doku bütünlüğünün bozulması ve anatomik hasar oluşumudur. Eğer kuvvet doku direncini aşarsa literatürde "irreversible work" olarak tanımlanan geri dönüşümü olmayan anatomik değişiklikler oluşur.^[8] Bu etkilerle karın içi kanamalar da sık görülür ve organ duvarlarındaki peteşilerden büyük hematomlar ve serbest kanamalara kadar değişik ağırlıklarda oluşabilir.

Bir başka mekanizma ise şok dalgalarının değişik dokular içinde değişik hızlarla iletilmesine bağlı olarak heterojen vücut içinde aynı anda pek çok farklı noktada farklı basınç değerlerinin oluşmasıdır. Bu farklı basınç değerleri organlarda farklı germe ve çekme kuvvetleri yaratarak doku bütünlüğünü tehdit etmekte ve doku direnci aşıldığı anda doku bütünlükleri bozulmaktadır. Dokularda doku dayanma drenci aşılmazsa belki anatomik yaralanmalar oluşmamakta ama mutlaka moleküler düzeyde hasar ortaya çıkmakta ve bu hasar dokularda ekimozlar, endotel hasarları ve buna bağlı geç komplikasyonlar şeklinde görülmektedir.^[3,7,9] Bizim çalışmamızda da bu durum beşinci metreye yerleştirilen mankenin içindeki balistik jelin moleküler yapısının patlama etkisinin yarattığı sinüzoidal hareketle bozulması ve şeffaflığın kaybolması şeklinde görülmüştür. Ama mankende gros anatomik yapı bozulmamıştır.

Bu duruma örnek olarak lümenli organların geç perforasyonları verilebilir. Perforasyonlar patlamayı takiben hemen oluşabildiği gibi birkaç gün gecikmiş olarak da görülebilir. Gecikmiş perforasyonların nedeni patlama anında mezoların gerilip uzamasına bağlı olarak oluşan dolaşım hasarı veya intramural kısımlarda endotel hasarıyla oluşan mikrosirkülasyon bozukluğu ve buna bağlı oluşan duvar zayıflıklarıdır.^[3] Karın içi solid organlarda oluşan hasar şok daldasından çok arkasından gelen patlama rüzgarının künt travma etkisiyle oluşmaktadır.^[1,3,4-6,8,9]

Şok dalgası en önemli etkilerini hava ihtiva eden organların başında gelen akciğerlerde göstermektedir.^[1,3,4,7] Künt travmalarla olan akciğer yaralanmalarında travmaya bağlı oluşan basınç kuvveti yavaş olduğu için akciğer içindeki havanın büyük kısmı trakeal yolla dışarı kaçabilir ama patlama yaralanmalarında

şok dalgası çok hızlı hareket ettiği için alveoller içindeki hava trakeal yolla dışarı kaçamaz ve akciğer parankimi, içerdeki hava ve dışardan gelen şok dalgası arasında sıkışır ve akciğer kontüzyonu oluşur.^[3,8] Şok dalgası etkisini nispeten azaltan kaburgalar, arkasındaki akciğer dokusunu korur ama interkostal aralıkların karşısına isabet eden kısımlarda birbirine paralel şeritler halinde ekimotik alanlar görülür ki bu izlere literatürde “*rib markings*” denmektedir.^[3,10,11] Akciğerlerdeki ekimotik alanlar interkostal aralıklardan başka mediastinal yüzlerde ve diyafragmatik yüzlerde sık görülür.^[3,10] Patlamaya bağlı akciğer yaralanmaları sonucunda en sık görülen ve hayatı tehdit eden durumlardan birisi hastada akut solunum sıkıntısı sendromunun gelişmesidir.^[1,3,8,9,10]

Patlama şok dalgasının yarattığı basınç etkisinin bir başka etkisi alveoller içinde sıkışan havanın alveolleri yırtmasıyla oluşan pnömo ve hemotoraks ile bronkoplevral fistüllerdir.^[3,8] Ayrıca cilt altı amfizemleri sık görülür. Yine alveollerde sıkışan havanın direk intravasküler alana enjeksiyonu ile hava embolileri görülür. Hava embolilerinin bir başka sebebi de reanimasyon çabaları ve sonrasında pozitif basınçlı ventilasyon uygulanması ile yaralı alveollerden vasküler yapılar içine hava kaçışıdır.^[12,13]

Hava içeren bir diğer organ olan orta kulak da şok dalgasının yarattığı basınç değişikliklerinden çok etkilenir. Çok yüksek volümlü ses dalgalarının kulak zarına yaptığı basınç miktarı 0,0027 atmosferden daha küçük bir basınç kuvvetidir. İnsan kulak zarının yırtılabilmesi için gereken basınç miktarının ise yaklaşık 0,55 atmosfer civarı olduğu hesaplanmıştır.^[3,14,15] Patlama yaralanmalarında genellikle çok daha yüksek basınçlara maruz kalan kulak zarı genellikle parstensa bölgesinden perfore olur.^[16] Perforasyondan sonra *incudomalleal* eklemde ve *incudostapedial* eklemde çıkıklar görülebilir.^[3] Bazen bu çıkıklara bu kemiklerdeki kırıklar da eşlik edebilir. Küçük patlama etkilerinde kafanın pozisyonu ve patlama bölgesine göre yönü perforasyon ve daha ileri yaralanmaların derecesini belirlemede önemlidir. Ama büyük patlamalarda önemi kalmaz ve daima kulak hasarı ve işitme kusuru oluşturur. Bu durum kapalı alan patlamalarında daha belirgindir.^[3]

Bir kilogramlık C4’ün açık alanda patlamasının ardından geçen yaklaşık 500-600 mikro saniye içinde patlama bölgesine 5 metre mesafede, yani 10 metre çaplı bir alanda olan tüm hedeflerin şok dalgasının etkisine maruz kaldığı çekmiş olduğumuz yüksek hızlı filmde görülmektedir. Bu patlama bir duvar önünde olsa veya hedeflerin arkasında bir duvar olsa etkilerin çok daha fazla olacağı değerlendirilmektedir. Bu durumda duvardan yansıyan şok dalgası hedefler üzerinde daha fazla etkili olacaktır. Aynı patlamanın kapalı bir alanda veya otobüs gibi kapalı bir vasıtada ger-

çekleşmesi durumunda oluşacak etki basınç kuvvetlerinin kapalı alan içerisinde çok daha fazla yükselecek olması nedeniyle maksimum olacaktır. Bu nedenle patlamanın gerçekleştiği alanın özelliklerini öğrenmek ilk müdahaleyi yapacak doktorlar için hasar derecesini ve yaralanmaların ciddiyetini daha iyi değerlendirebilmek adına önemlidir.

Şok dalgasından sonra hedefler üzerinde ikinci tahribatı ikincil patlama yaralanması oluşturur. Temel olarak ikincil patlama yaralanması bombadan çıkan şarapnel ve etraftaki taş toprak gibi partiküllerin hızla savrulması oluşturur.^[1,5] Şarapnel ilk hızları yüksek patlayıcılar için literatürde 1500-2200 m/sn aralığında verilmektedir. Şarapnel parçaları kötü aerodinamik şekilleri nedeniyle ateşli silah mermi çekirdeklerine göre çok daha çabuk hızını kaybetmekte ve yaklaşık 50 metre içinde tamamen etkisiz hale gelmektedirler. Açık alan patlamasında şarapnel parçaları ışınal olarak her yöne saçılır. Bu nedenle patlama bölgesine yaklaştıkça birim alana düşen şarapnel sayısı artarken uzaklaştıkça ışınal dağılım nedeniyle birim alana düşen şarapnel parça sayısı azalmaktadır.^[17,18]

Yaptığımız hızlı kamera çekimlerinde TNT için şarapnel parçası hızları patlama noktasından 2 metre mesafede 1420 m/sn olarak ölçüldü. C4 için ise aynı mesafede 1752 m/sn olarak hesaplanmıştır. Bu değerler literatürle örtüşmektedir. Mankenlerin patlama noktasına bakan vücut yüzeylerinde yapılan şarapnel giriş deliği sayımlarında iki metre mesafedeki mankenin beş metredekinden, on metredekini ise beş metredekinden çok daha fazla şarapnel isabeti aldığı görülmüştür ve bu konudaki literatür bilgisi ile uyum göstermektedir. Şarapnel parçaları ile oluşan yaralanmalar standart penetran ateşli silah yaralanması prensiplerine göre tedavi edilir.

Üçüncül etki ise patlama rüzgarı tarafından oluşturulur.^[3] Patlama anında TNT için bir hacme karşı yaklaşık 1200 hacim patlama gazı olduğu bildirilmiştir.^[17,18] Bu gaz çıkışı mikro saniyelerle ölçülen çok kısa bir süre içinde meydana geldiği için patlama odağında gaz sıkışmasına bağlı basınç çok yükselmekte ve bu bölgede yoğunluk da normal hava yoğunluğuna göre çok artmaktadır. Normalde özgül ağırlığı 1,29 gr/m³ gelen atmosfer o bölgede 1,5-2 gr/cm³ lük bir yoğunluğa ulaşmaktadır ve bu yoğunluktaki patlama gazı dışarıya doğru her yönde yayılmaktadır. Bu yayılma hızı C4 için 1752 m/sn TNT için 1420 m/sn’dir.^[17,18] Ancak bu yayılma hızı çok kısa mesafede azalmakta ve yoğunluk da hemen düşmektedir. Bunun nedeni patlama gazlarının küresel olarak yayılması sırasında alınan mesafenin küpüyle doğru orantılı olarak basınç ve hızın yavaşlamasıdır (kürenin hacim formülü: $\frac{4}{3} \pi r^3$).

İlk birkaç metre içinde özgül ağırlığı yaklaşık kamyonla eş olan bu kütle saatte 6300 km hızla hedefine

çarpmaktadır. Bu nedenle patlama bölgesine çok yakın yaralılarda vücut bütünlüğü önemli ölçüde bozulmakta, parçalanmalar, uzuv kopmaları ve anatomik boşlukların açılması görülmektedir. Patlayıcı miktarının artmasına paralel olarak çıkan patlama gazı miktarı artmakta ve bu yok edici etkinin de menzili uzamaktadır.

İlk anda şarapnel parçalarıyla hemen hemen aynı hızla giden bu yıkıcı patlama rüzgarı hemen yavaşlayıp etkisini kısa sürede yitirmesine rağmen bir kere hız kazanıp etrafa saçılmaya başlayan şarapnel parçaları o kadar çabuk yavaşlamaz ve etkisiz hale gelmeleri ortalama 40-50 metrelik bir menzil içinde olur.^[17,18] Bir piyade tüfeği mermisi 860 m/sn'lik hızla çıkmasına rağmen 3500 metre mesafeye ulaşabilirken kötü aerodinamik yapıları düzensiz konturları şarapnelin etkisini kısa sürede sıfıra indirir.^[19] Üçüncül etkinin tedavi prensipleri ağır künt travmalar ile benzerlik gösterir.

Dördüncül etki ise patlama ile oluşan kimyasal ve termal yanıkları ve varsa radyasyon etkisini kapsar.^[3] Klasik patlayıcılar patladıkları anda ortamdaki hemen hemen tüm oksijeni tükettikleri için ortamda özellikle yanıcı maddeler yoksa genellikle yangın çıkarmaz.^[17,18] Oluşan yanıklar patlama bölgesine yakın yaralılarda patlama anında ortaya çıkan çok yüksek anlık ısılar nedeniyle oluşur. Sıcak patlama gazlarının solunması ve çıkan kimyasal gazlar tüm havayolu ağacında ciddi yanıklara sebebiyet verir. Patlamalar sonrası oluşan akut solunum sıkıntısı sendromunun en önemli sebeplerinden birisi de bu etkidir.^[3]

Görüldüğü gibi patlayıcı madde yaralanmaları tek başlık altında incelense de aslında dört farklı mekanizma ile oluşan çok farklı tip yaralanmalar meydana getirebilmektedir. Bu yaralanmaya maruz kalan bir yaralının optimum tedavisinin düzenlenebilmesi için blast yaralanmaların mekaniği, patofizyolojisi iyi bilinmeli ve hasta takibinin her aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Mayo A, Kluger Y. Blast-induced injury of air-containing organs. *ADF Health* 2006;7:40-4.
2. Pennardt A, Lavonas E. Blast injuries. <http://emedicine.medscape.com/article/822587-overview>.
3. Wightman JM, Gladish SL. Explosions and blast injuries. *Ann Emerg Med* 2001;37:664-78.

4. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. Explosion and Blast Injuries: A Primer for Clinicians. <http://www.bt.cdc.gov/masscasualties/pdf/explosions-blast-injuries.pdf>.
5. Guy RJ, Glover MA, Cripps NP. The pathophysiology of primary blast injury and its implications for treatment. Part I: The thorax. *J R Nav Med Serv* 1998;84:79-86.
6. Cripps NP, Glover MA, Guy RJ. The pathophysiology of primary blast injury and its implications for treatment. Part II: The auditory structures and abdomen. *J R Nav Med Serv* 1999;85:13-24.
7. Cullis IG. Blast waves and how they interact with structures. *J R Army Med Corps* 2001;147:16-26.
8. Stuhmiller JH, Phillips YY, Richmond DR. The physics and mechanisms of primary blast injury. In: Bellamy RF, Zajtchuk R, editors. Conventional warfare: ballistic, blast and burn injuries. Washington, DC: Office of the Surgeon General of the US Army. 1991. p. 241-70.
9. Phillips YY, Richmond DR. Primary blast injury and basic research: a brief history. In: Bellamy RF, Zajtchuk R, editors. Conventional warfare: ballistic, blast and burn injuries. Washington, DC: Office of the Surgeon General of the US Army. 1991. p. 221-40.
10. Maynard RL, Coppel DL, Lowry KG. Blast injury of the lung. In: Cooper GJ, Dudley HAF, Gann DS, et al., editors. Scientific foundations of trauma. Oxford, UK: Birteworth-Heineman; 1997. p. 214-24.
11. Sharprack DD, Johnson AJ, Phillips YY. The pathology of primary blast injury. In: Bellamy RF, Zajtchuk R, editors. Conventional warfare: ballistic, blast and burn injuries. Washington, DC: Office of the Surgeon General of the US Army. 1991. p. 271-94.
12. Ho AM, Ling E. Systemic air embolism after lung trauma. *Anesthesiology* 1999;90:564-75.
13. Pizov R, Oppenheim-Eden A, Matot I, Weiss YG, Eidelman LA, Rivkind AI, et al. Blast lung injury from an explosion on a civilian bus. *Chest* 1999;115:165-72.
14. Richmond DR, Yelverton JT, Fletcher ER, Phillips YY. Physical correlates of eardrum rupture. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1989;140:35-41.
15. Garth RJN. Blast injury of the ear. In: Cooper GJ, Dudley HAF, Gann DS, et al., editors. Scientific Foundations of Trauma. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 1997. p. 225-35.
16. Kerr AG, Byrne JE. Concussive effects of bomb blast on the ear. *J Laryngol Otol* 1975;89:131-43.
17. Bjerketvedt D, Bakke JR, Van Windergeren K. Gas explosion handbook. *J Hazardous Materials* 1997;52:1-150.
18. Department of Army Technical Manuel. Military Explosives. TM-9-1300- 214. Headquarters, Department of the Army. September 1984. p. 9-355.
19. Ozer MT, Oğünç G, Eryılmaz M, Yiğit T, Menteş MO, Dakak M, et al. Organ models in wound ballistics: experimental study. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2007;13:20-7.