



SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE TIP FAKÜLTESİ

OLAĞAN DIŞI KOŞULLARDA HEKİMLİK SEMPOZYUMU

14-15 ŞUBAT 2026 | ANKARA

◆ PROF. DR. CEVDET ERDÖL KONFERANS SALONU
@ODKHSEMPOZYUMU



Olağan Dışı Koşullarda Hekimlik Sempozyumu Kitapçığı

İçindekiler

Bölüm 1: Yüzeyden Derine - Sualtı Hekimliği

1. Derinlerde Hayat: Su Altı Ortamının İnsan Fizyolojisine Etkisi (Doç. Dr. Kübra Canarlan Demir)
2. Dalış Kazalarında Acil Yaklaşım (Dr. Öğr. Üyesi Taylan Zaman)
3. Bir Dalış Simülasyonu: Hiperbarik Oksijen Tedavisinin Klinik Kullanım Alanları (Doç. Dr. Münire Kübra Özgök Kangal)
4. Sıfırın Altında Tıp: Kutup Koşullarında Hekimlik (Doç. Dr. Bengüsu Mirasoğlu)

Bölüm 2: Atmosfer İncelirken – Hava ve Uzay Tıbbı

1. Havacılık ve Yüksek İrtifa Fizyolojisi (Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman Engin Demir)
2. Zaman ve İrtifa Arasında: Havadan Tıbbi Tahliye (Doç. Dr. Onur Tezel)
3. Dünyadan Uluslararası Uzay İstasyonuna: Yıldızlara Giden Yolun Tıbbi Haritası (Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Hakan Gündüz)

Bölüm 2: Sınırlı Kaynakla Sınırsız Travma

1. Temel Yaşam Desteği (Prof. Dr. Şahin Kaymak)
2. Göğüs Travmalarında İlk Yardım ve Temel Yaklaşım Prensipleri (Doç. Dr. Hakan Işık)

Bölüm 3: Moleküler Kaos: Yüzyılın Vebası

1. Görünmez Tehdide Karşı Kalkan: KBRN Genel İlkeleri (Prof. Dr. Levent Kenar)
2. Mikroskobik Savaşlar: Biyoterörizm Tehdidi (Prof. Dr. Mesut Ortatatlı)
3. KBRN Terörizmi (Prof. Dr. Sermet Sezigen)

Bölüm 4: Sıcak Saha Perspektifi

1. Seyyar Sağlık Tesisleri ve Kahramanmaraş Depreminde Kullanımı (Tbp. Alb. Çağlar Ünlü)
2. Kahramanmaraş – Pazarcık Deneyimleri: Olağan Dışı Koşullarda Hekimlik Üzerine Bir Tanıklık (Dr. Özge Şahbaz)
3. Rol II Seyyar Sağlık Teşkillerinde Travma Yönetimi (Tbp. Bnb. Baki Türkoğlu)

DERİNLERDE HAYAT: SU ALTI ORTAMININ İNSAN FİZYOLOJİSİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Kübra Canarslan Demir

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca su altı dünyasını keşfetme arzusu taşımıştır. 1825 yılında William James tarafından icat edilen ilk "tam zamanlı SCUBA" sisteminden, Jacques-Yves Cousteau'nun 1942'de geliştirdiği modern regülatörlerin öncüsü olan talep valfi sistemine kadar uzanan bu süreçte, dalış teknolojisi büyük ilerlemeler kaydetmiştir (1). Ancak teknolojik gelişmelere rağmen, insan vücudu su altı ortamının yarattığı benzersiz fiziksel ve fizyolojik zorluklarla başa çıkmak zorundadır.

Su altında nefes almak, vücut üzerinde önemli homeostatik zorluklar yaratır. Dalıcının karşılaştığı bu zorluklar, solunan gaz karışımlarının basınç altındaki davranışları, ortam basıncındaki değişikliklerin hava dolu boşluklar üzerindeki etkileri ve vücudun oksijensizliğe karşı geliştirdiği evrimsel adaptasyonlar etrafında şekillenir. Bu nedenle, dalış tıbbını anlamak için öncelikle hiperbarik fiziğin temel yasalarına hakim olmak gereklidir. Bu bölüm, su altı ortamının insan fizyolojisi üzerindeki etkilerini, hiperbarik fiziğin temel prensiplerini, dalış tıbbının klinik uygulamalarını, boğulma fizyolojisini ve kardiyovasküler adaptasyonları anlatmayı amaçlamaktadır.

2. BASINÇ VE KİNETİK GAZ TEORİLERİ

Su altı ortamında fizyolojik değişiklikleri anlamak, ortam basıncı ile gaz hacmi ve çözünürlüğü arasındaki ilişkiyi yöneten temel fizik yasalarının kavranmasına dayanır.

2.1. Basınç ve Basınç Birimleri

Dünya'nın yüzeyinde atmosfer kütlelerinin oluşturduğu basınca atmosferik (barometrik) basınç denir. Atmosferde yükseldikçe basınç azalır, deniz seviyesinin altına veya madenlere inildikçe basınç artar (2). Örneğin, Everest'in zirvesinde atmosferik basınç, deniz seviyesinin yalnızca %40'ı kadardır. Su havadan daha yoğun olduğu için, dalgıçlar belirli bir derinlikte dağcıların veya pilotların irtifada maruz kaldığından daha fazla basınç değişimine uğrar.

Basınç ölçümünde iki temel referans noktası vardır:

- **Mutlak basınç (ATA – Absolute Pressure):** Referans noktası mutlak sıfırdır.
- **Gösterge basıncı (ATG – Gauge Pressure):** Referans noktası ortam basıncıdır.

Deniz seviyesinde mutlak basınç 1 ATA, gösterge basıncı ise 0 ATG'dir. Suyun yaptığı basınca hidrostatik basınç denir. Sualtında dalgıcın maruz kaldığı toplam basınç, hidrostatik basınç ile atmosferik basıncın toplamına eşittir. Örneğin, 10 metre derinlikte toplam basınç 2 ATA'dır (1 ATA atmosferik + 1 ATA hidrostatik). 90 metre derinlikte ise bu değer 10 ATA'ya ulaşır (2).

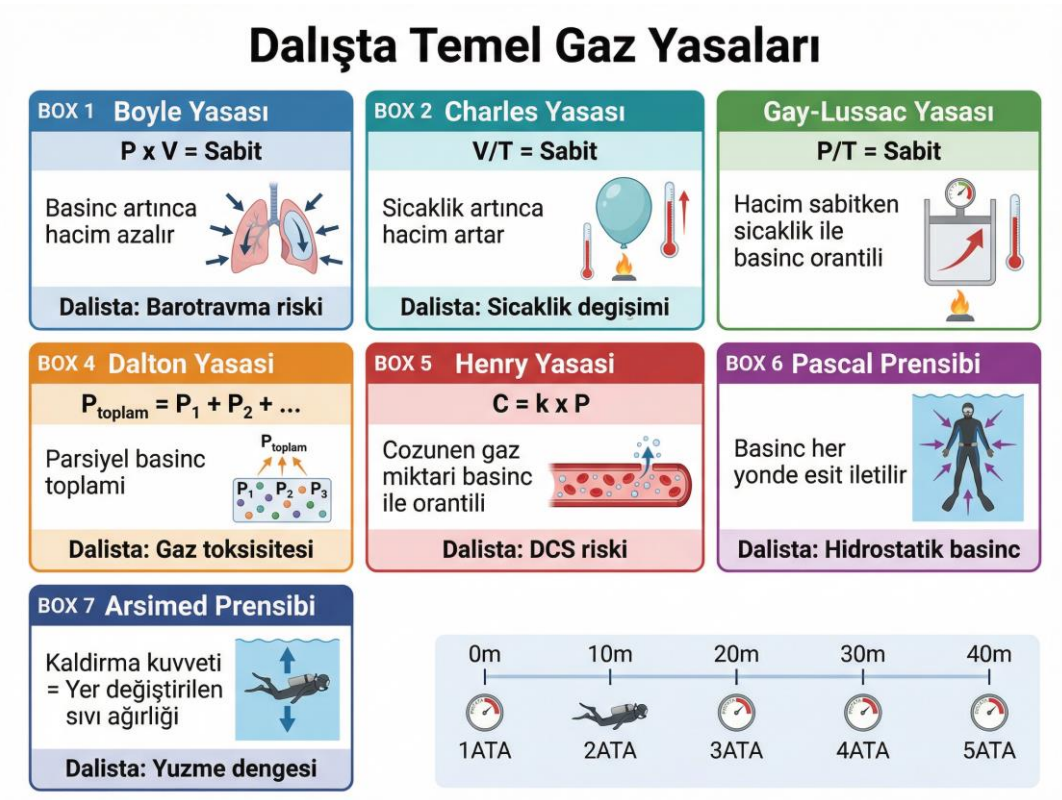
2.2. Kinetik Gaz Teorisi

Kinetik gaz teorisi, gazların basınç ve sıcaklık gibi özelliklerini açıklayan temel ilkeler üzerine kuruludur. Bu teoriye göre gazların davranışlarını açıklayan altı temel çıkarım vardır .

- **Gazların yapısı:** Gazlar, birbirinden bağımsız, her yönde gelişigüzel ve sürekli hareket eden taneciklerden oluşur.
- **Gazların kabı doldurması:** Moleküller doğrusal ya da zikzaklı (Brown hareketi) hareketler yaparak buldukları kabı tamamen doldurur. Gazın hacmi, içinde bulunduğu kabın hacmine eşittir.
- **Moleküller arası boşluk:** Gaz molekülleri arasında büyük boşluklar bulunur (örn. normal koşullarda oksijen gazının hacminin %99,6'sı boşluktur). Bu nedenle gazlar kolaylıkla sıkıştırılabilir.
- **Çarpışmalar:** Moleküller hem kabın duvarına hem de birbirlerine sık sık çarpırlar.
- **Esnek çarpışmalar:** Gaz taneciklerinin çarpışmaları tamamen esnektir. Sistemin toplam enerjisi değişmez.
- **Sıcaklık ve hız ilişkisi:** Aynı sıcaklıktaki tüm gazların ortalama hızları ve kinetik enerjileri eşittir. Sıcaklık arttıkça moleküllerin hızları da artar.

2.3. Temel Gaz Yasaları

Dalışta kullanılan temel gaz yasaları Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. Dalış tıbbında kullanılan temel gaz yasaları ve derinlik-basınc ilişkisi.

2.3.1 Boyle Yasası

Sıcaklık sabitken, basınc arttıkça gazın hacmi azalır, basınc azaldıkça hacim artar. Dalışta bu yasanın önemi büyüktür. Derinlere inildikçe basınc artar, solunan gazın hacmi küçülür ve yoğunluğu artar. Daha yoğun gaz, solunumda daha fazla efor gerektirir ve türbülanslı akım oluşturarak inspirasyon kaslarını yorar. Ayrıca dalış tüpündeki hava, basınc arttıkça daha hızlı tükenir. Çıkışta ise basınc azalır, gaz hacmi artar; gaz dışarı atılmazsa dokuları sıkıştırarak barotravmaya neden olur (2). Hacim değişiklikleri özellikle yüzeye yakın derinliklerde belirgindir, bu nedenle barotravma riski yüzeye yakın bölgelerde daha fazladır.

2.3.2 Charles Yasası

Basınc sabitken gazın hacmi, mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır (2). Sıcaklık arttıkça gaz hacmi artar, düşükçe azalır. Dalışçılar genellikle Kelvin veya Rankine ölçeğini kullanır.

2.3.3 Gay-Lussac Yasası

Hacim sabitken gazın basıncı, sıcaklık ile doğru orantılıdır (2).

2.3.4 Dalton Yasası

Kapalı bir sistemde toplam basınç, karışımdaki gazların parsiyel basınçları toplamına eşittir (2). Örneğin, hava yaklaşık %80 nitrojen ve %20 oksijen içerir. 1 ATA'da nitrojen parsiyel basıncı 0.8 ATA, oksijen parsiyel basıncı 0.2 ATA iken; 2 ATA'da bu değerler sırasıyla 1.6 ATA ve 0.4 ATA olur (2). Bu yasa, derinlerde solunan gazların toksik etkilerini anlamak için kritiktir.

2.3.5 Henry Yasası

Sıcaklık sabitken, bir sıvıda çözünen gaz miktarı gazın parsiyel basıncı ile doğru, sıcaklık ile ters orantılıdır (2). Derinlik arttıkça ve solunan gazın kısmi basıncı yükseldikçe, kanda çözünen nitrojen miktarı artar. Deniz seviyesinde dokularda yaklaşık 1 litre nitrojen çözünmüş bulunurken, 10 metrede (2 ATA) bu miktar iki katına çıkar (2). Hızlı bir yükselme sırasında ortam basıncı aniden düştüğünde, çözünmüş nitrojen kabarcıklar oluşturarak dekompresyon hastalığına (DCS) neden olur (1) (2).

2.3.6 Van der Waals Denklemi

Gerçek gaz davranışlarını açıklayan denklemdir. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçta gaz molekülleri birbirine yaklaşır ve gaz idealden sapar. Özellikle helyum içeren karışımlar ideal gaz yasası ile hesaplanamaz; bu koşullarda Van der Waals denklemi daha doğru sonuç verir (2).

3. SU ALTI FİZİKSEL ORTAMI VE İNSAN VÜCUDUNA ETKİLERİ

3.1. Kaldırma Kuvveti ve Arşimet Prensibi

Bir sıvı içine kısmen veya tamamen batırılan cisim, yer değiştirdiği sıvının ağırlığına eşit bir kuvvetle yukarıya doğru itilir. Dalgıç da suya batırıldığında bu prensibe tabidir. Kaldırma kuvveti üç türdür: pozitif (yüze çıkarır), negatif (dibe batırır) ve nötr (suda asılı bırakır) (2). Denge yeleği (BCD), dalgıcın bu kuvveti ayarlamasını sağlar. İniş sırasında artan

basınç yelek içindeki havayı küçültür ve batışı kolaylaştırırken; çıkışta genişleyen hava kaldırma kuvvetini artırır (2).

3.2. Isı, Işık ve Adyabatik Genişleme

Suda ısı kaybı, havaya göre çok daha hızlıdır çünkü su mükemmel bir ısı iletkenidir. Helyum ortamında ısı kaybı daha da hızlıdır, bu durum dalgıçı hipotermi riski ile karşı karşıya bırakır. Adyabatik genişleme prensibine göre, gaz sıkıştırıldığında sıcaklık yükselir, basınç azaldığında sıcaklık düşer .

Su altında ışık absorbe edilir, difüze olur ve kırılır (refraksiyon). En düşük enerjili kırmızı ışık ilk kaybolur. Kırılma nedeniyle maske altındaki cisimler %30 daha büyük ve %25 daha yakın görünür (2).

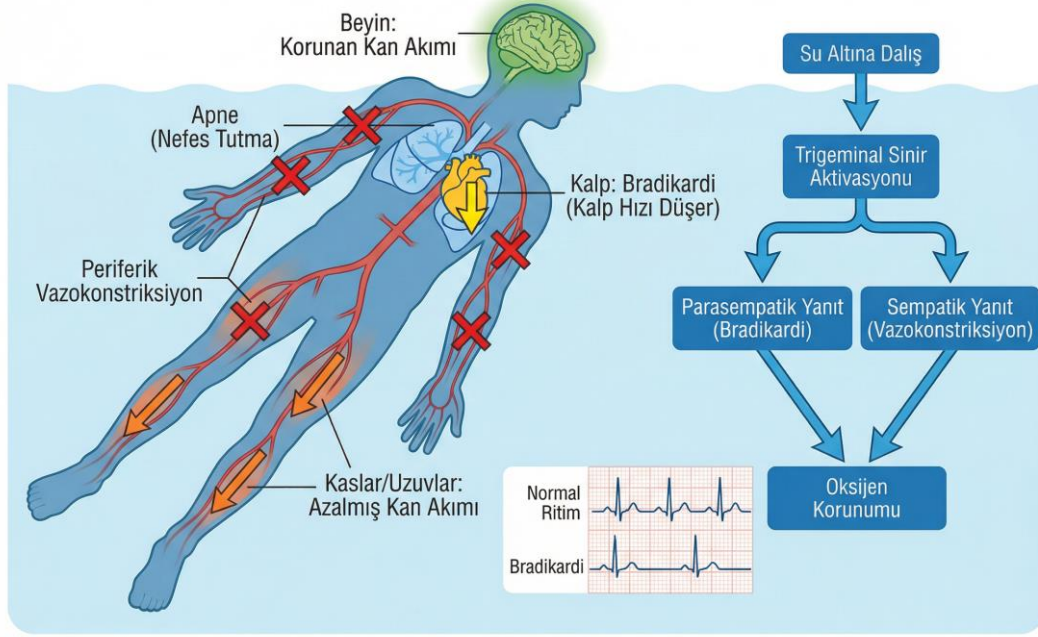
3.3. Pascal Prensibi ve Akciğerler Üzerine Etkiler

Pascal prensibine göre, sıkıştırılmayan bir sıvıya uygulanan basınç, sıvının her noktasına eşit olarak iletilir. Dalış sırasında artmış su basıncı vücuda dışarıdan iletilir. Boyuna kadar suya dalmak, hidrostatik basıncın toraksı sıkıştırması nedeniyle vital kapasiteyi yaklaşık %10 azaltır. Suyun etkisiyle bacaklara giden kan azalır, toraks içi kan akımı artar ve akciğer kompliyansı düşer. Çıkış sırasında ağız akciğerlerden yukarıda olduğunda inhalasyon zorlaşırken; iniş sırasında ağız daha derindeyse ekspirasyon zorlaşır (2).

4. MEMELİ DALIŞ REFLEKSİ (MAMMALIAN DIVING RESPONSE)

Memeli dalış refleksi, su altında kalma (submersiyon) durumunda ortaya çıkan, temel homeostatik refleksleri geçersiz kılan ve oksijen depolarını korumayı amaçlayan evrimsel bir hayatta kalma mekanizmasıdır. Foklar ve yunuslar gibi büyük sucul memelilerde en belirgin şekilde incelenmiş olsa da bu refleks insanlar da dahil olmak üzere tüm omurgalılarda bulunur (3).

MEMELİ DALIŞ REFLEKSİ (MAMMALIAN DIVING RESPONSE) MEKANİZMASI



Şekil 2. Memeli dalış refleksi

Dalış refleksi, organizmanın su altında nefes alamaması (apne) sonucu oluşan asfiksi durumuna karşı üç temel fizyolojik yanıtın birleşimidir:

- **Bradikardi:** Kalp atış hızındaki bu parasempatik kaynaklı düşüş, kardiyak debiyi önemli ölçüde azaltarak miyokardiyal oksijen tüketimini sınırlar (3).
- **Periferik Vazokonstriksiyon:** Sempatik sinir sistemi devreye girerek cilt, kas ve splanknik dolaşımında masif bir damar daralmasına neden olur (3).
- **Kan Akımının Yeniden Dağılımı:** Merkezi sinir sistemi (beyin) ve kalbe giden kan akımı korunur veya artırılır (3).

5. SU ALTINDA KARDİOVASKÜLER ETKİLER, HİPOTERMİ VE BOĞULMA

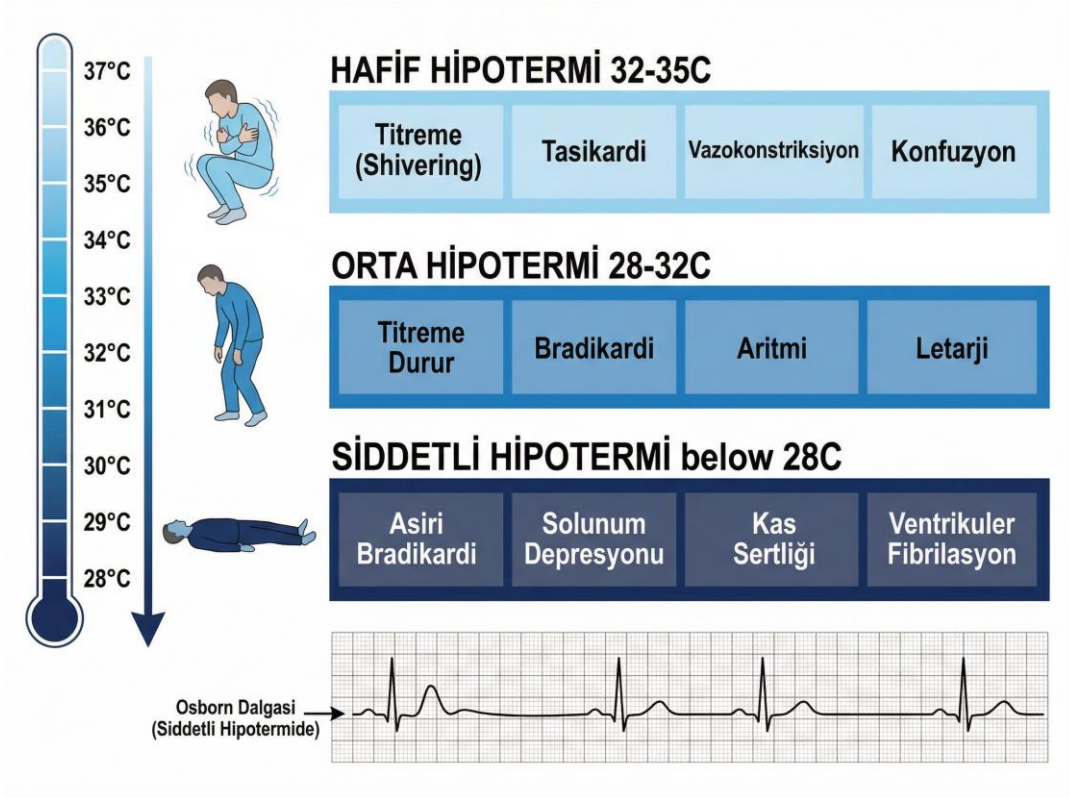
5.1. Daldırma (Immersion) Etkisi

Vücudun suya girmesi, hidrostatik basıncın etkisiyle periferik venöz kanın göğüs boşluğuna doğru yer değiştirmesine neden olur (4). Bu "merkezi kan göllenmesi", kalbin sağ

atriyum ve ventrikülündeki hacmi (preload) artırır. Kalp, bu artan hacmi telafi etmek için atım hacmini artırır. Soğuk su bu etkiyi şiddetlendirerek dalışa bağı pulmoner ödem gelişmesine zemin hazırlayabilir (4).

5.2. Hipotermi ve Soğuk Su Şoku

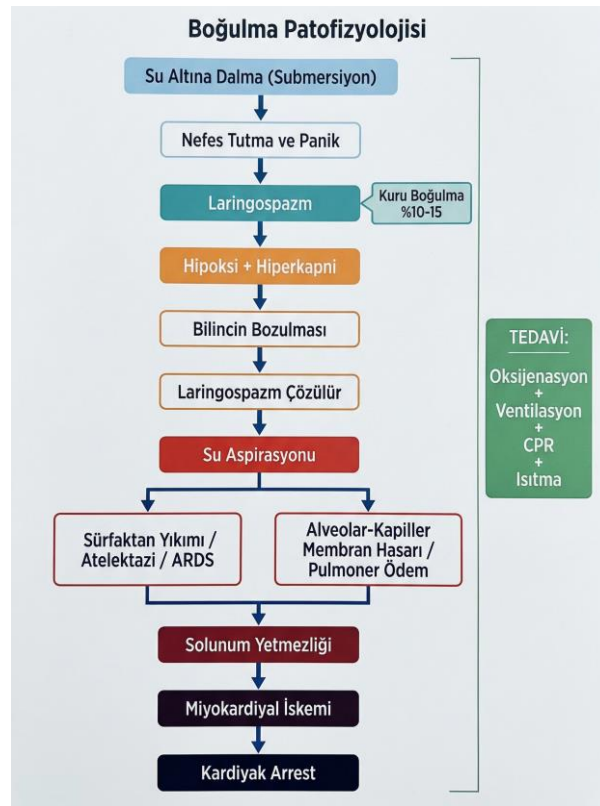
Su, ısıyı havadan çok daha hızlı iletir. Soğuk suya ani daldırma, "soğuk su şoku" adı verilen ve sempatik sinir sisteminin aşırı uyarılmasıyla karakterize olan bir reaksiyona neden olur. Bu durum taşikardi, hiperventilasyon ve kan basıncında ani artışa yol açar. Hipotermi ilerledikçe hücrel metabolizma yavaşlar; bu durum dokuların oksijen ihtiyacını azaltarak nörolojik sağkalım şansını artırabilirken, şiddetli hipotermide ölümcül aritmilere yol açabilir.



Şekil 3. Hipotermi aşamaları, fizyolojik yanıtlar ve EKG'de Osborn dalgası. (Bu tablo sadeleştirilmiş bir klinik özet olup, hastalar arası geçişler keskin sınırlar göstermeyebilir.)

5.3. Boğulma Patofizyolojisi

Boğulmanın temel patofizyolojik mekanizması hipoksidir (5). Süreç genellikle su altında nefes tutma ve panik ile başlar. Suyun orofarinkse temas etmesi laringospazma neden olur. Laringospazm çözüldüğünde su akciğerlere dolar (aspirasyon). Tatlı veya tuzlu su aspirasyonu alveollerdeki sürfaktanı yıkayarak atelektaziye, alveolar-kapiller membran hasarına ve nihayetinde Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu'na (ARDS) yol açar (5). Şiddetli hipoksi, kardiyak arreste neden olur.

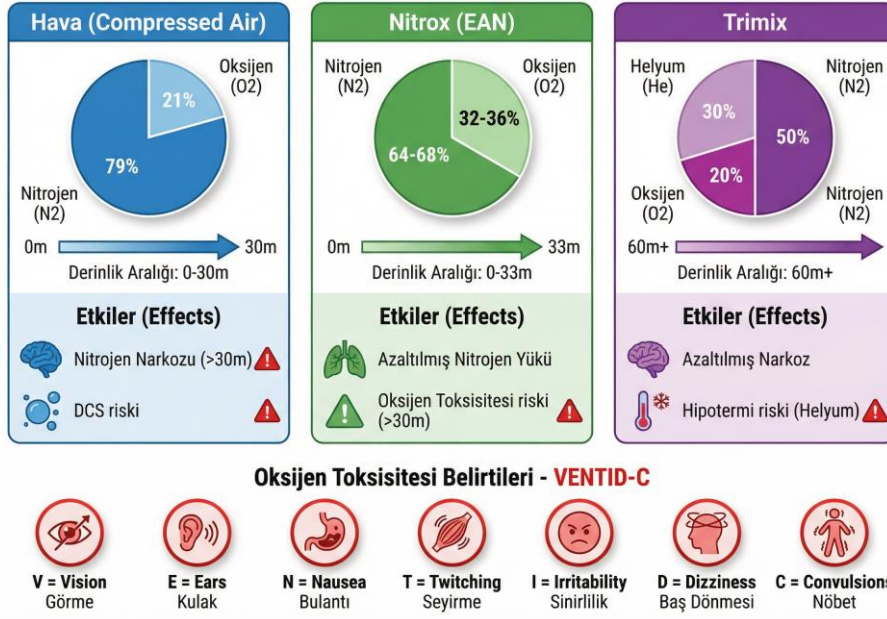


Şekil 4. Boğulma patofizyolojisi akış diyagramı.

6. DALIŞ SIRASINDA KULLANILAN GAZ KARIŞIMLARI

Dalışta kullanılan farklı gaz karışımları, derinliğe bağlı olarak spesifik fizyolojik etkilere ve potansiyel toksisiteler sahip olabilir (2,6).

Dalış Gaz Karışımları (Diving Gas Mixtures)



Şekil 5. Dalışlarda kullanılan gaz karışımları

6.1. Oksijen (O₂)

Tüm dalış gazlarının olmazsa olmaz bileşenidir. Dalışta hipoksi olmaması için en az 0.2 ATA gereklidir (6). Ancak yüksek parsiyel basınçlarda toksiktir; 0.55 ATA üzerinde uzun süre maruziyet pulmoner oksijen toksisitesine, 1.5 ATA üzerinde kısa süre maruziyet ise merkezi sinir sistemi (MSS) toksisitesine (konvülsiyon riski) yol açar (6). MSS toksisitesi belirtileri "VENTID-C" (Görme bozukluğu, Kulak çınlaması, Bulantı, Seyirme, İrritabilite, Baş dönmesi, Konvülsiyon) akronimi ile bilinir (1).

6.2. Nitrojen (N)

Havada %79 oranında bulunur. Dekompresyon hastalığına sebep olan kabarcıkların çoğu nitrojen kaynaklıdır (6). 30 metre (100 feet) derinliğin altında nitrojen narkozuna neden olarak dalgıcın performansını azaltır, sarhoşluk ve yönelim bozukluğu yapar (1,6). Yoğunluğu fazla olduğu için solunum eforunu artırır.

6.3. Helyum (He)

Helyum, 50 metreden derin dalışlarda oksijen ile birlikte (Heliox veya Trimix) kullanılır (6). Narkoza sebep olmaz ve hafif olduğu için solunumu kolaylaştırır. Nitrojenden daha hızlı difüze olduğu için dekompresyon süresini kısaltabilir (6). Ancak derinlerde

konuşmayı bozar, yüksek termal iletkenliği nedeniyle ısı kaybını hızlandırır ve Yüksek Basınçlı Sinir Sendromu (HPNS) ile ilişkilidir (6).

6.4 Hidrojen (H₂)

Hidrojen ise çok hafif ve ucuzdur, ancak patlama riski nedeniyle dalışlarda nadiren tercih edilir (6).

7. ÖZEL DALIŞ TÜRLERİ

7.1. İrtifa Dalışı

Yüksek irtifadaki göllerde dalış yapan dalgıç, deniz seviyesindeki göre daha düşük basınçlı bir yüzeye çıkar (2). Bu durum vücutta daha fazla baloncuk oluşumuna ve dekompresyon hastalığı riskinin artmasına neden olur. Tatlı su, tuzlu sudan daha az yoğun olduğu için derinlik değişiminde daha az basınç farkı olur (2). Yüksek irtifa dalışlarında dalış derinliği azaltılmalı, süresi kısaltılmalı ve çıkış hızı yavaşlatılmalıdır (2).

7.2. Saturasyon Dalışı

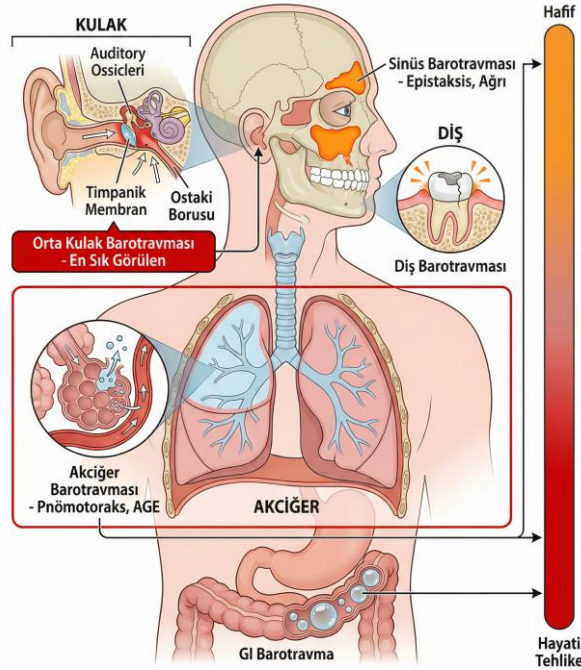
Saturasyon dalışında dalgıçlar, yüksek basınçlı üslerde uzun süre kalarak basınca adaptasyon sağlar (2). Yüze çıkışları çok yavaş olmalıdır; dekompresyonu önlemek için günler sürebilir. Dalış sonrası uçakla yolculuk yapacak veya yüksek irtifaya çıkacak dalgıçların yüze belirli süre beklemeleri gerekir (2).

8. DALIŞA BAĞLI YARALANMALAR: BAROTRAVMA VE DEKOMPRESYON HASTALIĞI

8.1. Barotravma

Barotravma, ortam basıncındaki değişikliğe bağlı olarak hava içeren vücut boşluklarındaki gaz hacminin değişmesi sonucu ortaya çıkan doku hasarıdır (7).

BAROTRAVMA TÜRLERİ



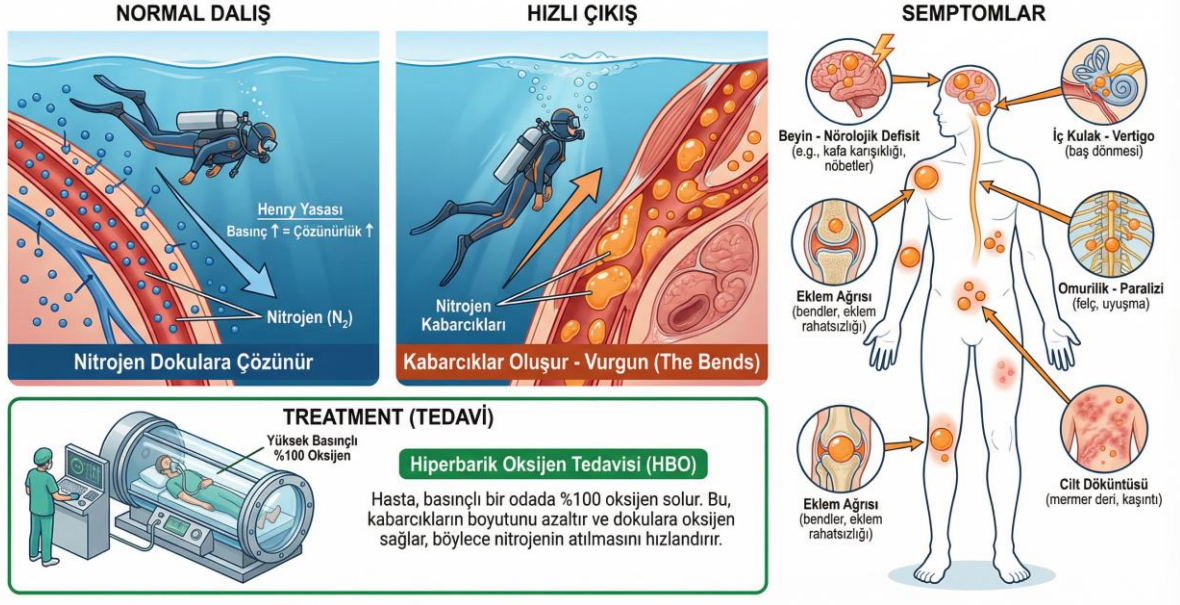
Şekil 6. Barotravma türleri

- **Kulak ve Sinüs Barotravması:** Orta kulak barotravması en sık karşılaşılan yaralanmadır (7). İniş sırasında basınç eşitlenemezse timpanik membran içeri doğru çöker, şiddetli ağrı ve perforasyon gelişebilir.
- **Akciğer Barotravması:** En hayati tehlike oluşturan barotravma türüdür. Dalıcı yükselirken nefesini tutarsa, akciğerlerdeki gaz hacmi genişler (Boyle yasası) ve alveollerin yırtılmasına neden olur (1).
- **Arteriyel Gaz Embolizmi (AGE):** Akciğer barotravması sonucu yırtılan alveollerden dolaşıma geçen gaz kabarcıkları, koroner veya serebral arterleri tıkayarak miyokard enfarktüsüne veya inmeye neden olabilir (1).

8.2. Dekompresyon Hastalığı (DCS)

Dekompresyon hastalığı (DCS), hızlı çıkış sırasında dokularda çözünmüş olan inert gazların (nitrojen veya helyum) kan dolaşımına yavaşça dönmek yerine kabarcıklar oluşturmasıdır (1). Bu gaz kabarcıkları eklemleri, cildi, iç kulağı, beyni ve omuriliği etkileyebilir.

DEKOMPRESYON HASTALIĞI (DCS)



Şekil 7. Dekompresyon hastalığı

9. SONUÇ

Su altı ortamı, insan fizyolojisi üzerinde derin ve karmaşık etkilere sahiptir. Basınç değişiklikleri, gaz yasaları, daldırma etkileri ve evrimsel dalış refleksleri, dalıcının sağlığını doğrudan etkiler. Tıp öğrencilerinin ve geleceğin hekimlerinin hiperbarik fizik yasalarını, barotravma mekanizmalarını, dekompresyon hastalığı patofizyolojisini ve klinik yaklaşımları anlaması, dalış kazalarının doğru teşhisi ve hayat kurtarıcı tedavilerin zamanında uygulanması için kritik öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Raymond KA, Cooper JS. Scuba diving physiology. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing; 2025. Erişim: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441837/>
2. Bove AA, Davis J. Bove and Davis' Diving Medicine. 4th ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2004.

3. Panneton WM. The mammalian diving response: an enigmatic reflex to preserve life? *Physiology (Bethesda)*. 2013;28(5):284-297. doi:10.1152/physiol.00020.2013
4. Åsmul K, Irgens Å, Grønning M, Møllerløkken A. Diving and long-term cardiovascular health. *Occup Med (Lond)*. 2017;67(5):371-376. doi:10.1093/occmed/kqx070
5. Merck Manuals Professional Edition. Drowning. Erişim: <https://www.merckmanuals.com/professional/injuries-poisoning/drowning/drowning>
Erişim tarihi: 16 Nisan 2026.
6. Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell SJ. Diving and Subaquatic Medicine. 5th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2015.
7. Merck Manuals Professional Edition. Overview of barotrauma. Erişim: <https://www.merckmanuals.com/professional/injuries-poisoning/injury-during-diving-or-work-in-compressed-air/overview-of-barotrauma>
Erişim tarihi: 16 Nisan 2026.

DALIŞ KAZALARINDA ACİL YAKLAŞIM

Dr. Öğr. Üyesi Taylan Zaman

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD.

1. GİRİŞ

Dalış, rekreasyonel, mesleki ve askeri uygulamaları olan; insan organizmasını kısa süre içinde belirgin fiziksel ve fizyolojik değişikliklere maruz bırakan özgün bir çevresel stres modelidir. Artan rekreasyonel dalış popülasyonu, daha fazla bireyin artmış çevresel basınç, değişen gaz parsiyel basınçları, immersiyon, soğuk maruziyeti ve sınırlı hareket alanı gibi fizyolojik stresörlerle karşılaşmasına neden olmaktadır. Rekreasyonel dalış popülasyonunun büyüklüğünü kesin olarak saptamak güç olmakla birlikte, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde milyonlarca aktif SCUBA dalgıcının bulunduğu; ayrıca uluslararası eğitim ve sertifikasyon sistemlerinin dalışı küresel ölçekte yaygınlaştırdığı bilinmektedir (1,2).

Dalış genel olarak güvenli kabul edilse de, güvenlik bu aktivitenin fizyolojik olarak risksiz olduğu anlamına gelmez. Aksine, dalışa bağlı klinik tabloların büyük bölümü atmosferik koşullarda gözlenmeyen basınç ve gaz dinamiklerinin doğrudan sonucudur. Dalışla ilişkili hastalık ve yaralanmaların önemli bir kısmı basınç değişikliklerine, bir kısmı solunan gazların dokulardaki davranışına, bir kısmı ise çevresel ve davranışsal faktörlere bağlıdır. Bu nedenle dalış kazalarına yaklaşım, tek bir tanıya odaklanan indirgemeci bir model yerine; dalış profili, semptomların zamanlaması, kullanılan gaz karışımı, yükselme hızı, çevresel koşullar ve bireysel yatkınlıkların birlikte değerlendirildiği bütüncül bir klinik çerçevede ele alınmalıdır (3-5).

Dalış kazalarında mortalite göreceli olarak düşük olmakla birlikte morbidite belirgin düzeyde olabilir. Özellikle nörolojik dekompresyon hastalığı, arteriyel gaz embolisi, ciddi pulmoner barotravma ve boğulma tablolarında erken tanı ve müdahale prognozu doğrudan etkiler. Bununla birlikte mevcut veriler, dalış kazalarının önemli bir kısmının uygun eğitim, ekipman kullanımı, konservatif planlama ve erken semptom farkındalığı ile önlenebilir olduğunu göstermektedir. Bu bölümde dalış fizyolojisinin klinik açıdan en anlamlı bileşenleri, başlıca dalış kazaları, ayırıcı tanıyı yönlendiren klinik bulgular, acil yaklaşım ilkeleri ve önleme stratejileri ele alınacaktır.

2. DALIŞ FİZYOLOJİSİ VE DALIŞ KAZALARI

Dalış fiziolojisinin temeli, atmosferik basınç ile hidrostatik basıncın toplamından oluşan çevresel basınçtaki artıştır. Deniz seviyesinde yaklaşık 1 ATA olan çevresel basınç, deniz suyunda her 10 metrede yaklaşık 1 ATA artar. Bu artış, solunan gazların hacmi, yoğunluğu, parsiyel basıncı ve dokulardaki çözünürlüğü üzerinde doğrudan etkilidir. Klinik dalış tıbbında büyük öneme sahip fiziksel ilkeler Boyle, Henry ve Dalton kanunlarıdır; bu yasalar pratikte birbirinden bağımsız değil, fiziolojik etkileri açısından birbirini tamamlayan süreçler oluşturur (3,6). Bir önceki bölümde bu yasalar anlatılmıştır; mevcut bölümde ise kazalar ile olan ilişkisi detaylandırılacaktır.

Boyle kanununa göre sabit sıcaklıkta gaz hacmi basınç ile ters orantılıdır. Bu ilke dalış sırasında özellikle orta kulak, sinüsler, akciğerler ve kısmen gastrointestinal sistem gibi hava içeren boşluklarda klinik sonuç doğurur. İniş sırasında çevresel basınç arttığında bu boşluklardaki gaz hacmi azalır; yeterli eşitleme sağlanamazsa doku gerilimi, mukozal ödem, hemoraji ve rüptür gelişebilir. Yükseliş sırasında ise çevresel basınç azalırken kapalı alanlardaki gaz genişler; ekspansiyonun yeterli şekilde kompanse edilememesi durumunda alveoler aşırı distansiyon ve rüptür gelişebilir. Bu mekanizma pulmoner barotravmanın ve onu takiben gelişebilecek arteriyel gaz embolisinin temelini oluşturur (3,6,7).

Henry kanunu, bir gazın sıvı içindeki çözünürlüğünün o gazın parsiyel basıncı ile doğru orantılı olduğunu belirtir. Dalış sırasında inert gazların, özellikle azotun, artmış basınç altında kan ve dokularda daha fazla çözünmesi bu ilke ile açıklanır. Dalışın derinliği ve süresi arttıkça dokuların inert gaz yükü artar; yükseliş kontrollü değilse veya dekompresyon gereklilikleri karşılanmazsa, çözünmüş gazlar çözeltiden ayrılarak doku ve damar içinde kabarcık oluşturur. Bu kabarcıklar yalnızca mekanik obstrüksiyon oluşturmakla kalmaz; aynı zamanda endotel disfonksiyonu, inflamatuvar yanıt aktivasyonu ve mikrovasküler geçirgenlik artışı ile kompleks bir biyolojik süreç başlatır. Bu nedenle dekompresyon hastalığı yalnızca fiziksel bir gaz fenomeni değil, çok boyutlu bir patofizyolojik sendrom olarak değerlendirilmelidir (3-5).

Dalton kanunu ise bir gaz karışımının toplam basıncının, bileşen gazların parsiyel basınçlarının toplamına eşit olduğunu ifade eder. Derinlik arttıkça toplam çevresel basınç arttığından, solunan gaz karışımının her bileşeninin parsiyel basıncı da artar. Bu durumun klinik sonucu olarak, artmış azot parsiyel basıncı inert gaz narkozuna; artmış oksijen parsiyel basıncı ise oksijen toksisitesine yol açabilir. Dolayısıyla yüzeyde güvenli olan bir gaz karışımı, artan derinlikte tamamen farklı fiziolojik ve toksik etkiler gösterebilir (8,9).

Bunlara ek olarak immersiyanın kendisi de dalış fizyolojisini etkiler. Suya girişle birlikte periferden santrale kan redistribüsyonu olur; venöz dönüş ve preload artar, solunum mekaniği değişir ve özellikle soğuk su ya da efor varlığında pulmoner vasküler yük artabilir. Bu hemodinamik değişiklikler, predispozan bireylerde immersiyan pulmoner ödem gelişimine katkıda bulunabilir. Bu nedenle dalış patofizyolojisi yalnızca gaz kanunlarıyla değil, kardiyopulmoner yanıtlar ve bireysel duyarlılık ile birlikte değerlendirilmelidir (10,11).

3. DALIŞ KAZALARININ SINIFLANDIRILMASI

Dalış kazaları klinik pratikte çoğu zaman birden fazla patofizyolojik mekanizmanın eşzamanlı bulunduğu kompleks tablolar şeklinde görülür. Bu durum, klinik değerlendirmede tekil tanı yaklaşımının yetersiz kalabileceğini ve daha sistematik bir sınıflandırmanın gerekliliğini ortaya koyar. Tanısal yaklaşımı ve tedavi önceliklerini belirlemek amacıyla dalış kazaları patofizyolojik ekseninde sınıflandırılabilir.

Pratik bir yaklaşımla dalış kazaları dört ana grupta incelenebilir: basınç değişikliklerine bağlı yaralanmalar, gaz kaynaklı sistemik patolojiler, solunan gazların toksik etkileri ve çevresel/sistemik durumlar. Bu sınıflama, klinik değerlendirme sırasında olası mekanizmaların hızlı biçimde organize edilmesine ve ayırıcı tanının yapılandırılmasına katkı sağlar.

Basınç değişikliklerine bağlı yaralanmalar, yani barotravmalar, esas olarak Boyle kanununun klinik sonucudur. Orta kulak, sinüs ve akciğerler en sık etkilenen yapılardır. Gaz kaynaklı sistemik patolojiler başlıca dekompresyon hastalığı ve arteriyel gaz embolisini içerir; bu iki tablo güncel literatürde sıklıkla “decompression illness” başlığı altında birlikte ele alınır. Bu yaklaşım, her iki durumun klinik sunumlarının örtüşmesi ve tedavi prensiplerinin büyük ölçüde benzer olmasına dayanmaktadır (3,5,12).

Solunan gazların toksik etkileri başlığı altında inert gaz narkozu ve oksijen toksisitesi yer alır. Bu durumlar dalış sırasında ani bilişsel veya nörolojik bozulmalara yol açarak ikincil kazalara zemin hazırlayabilir. Çevresel ve sistemik faktörler arasında ise hipotermi, immersiyan pulmoner ödem, sıg su bayılması ve boğulma gibi tablolar yer alır.

3.1 Barotravmalar

Barotravma, basınç değişikliğine karşı kapalı veya yarı kapalı hava boşluklarında yeterli eşitlemenin sağlanamaması sonucu gelişen doku hasarıdır. Dalış pratiğinde en sık orta kulak

barotravması görülür. Östaki tüp disfonksiyonu, üst solunum yolu enfeksiyonları, alerjik mukozal ödem veya yetersiz eşitleme teknikleri iniş sırasında orta kulakta negatif basınç oluşumuna neden olur. Klinik olarak kulakta dolgunluk, ağrı, işitme azalması, hemotimpanum veya timpanik membran rüptürü gelişebilir. Otolojik barotravmaların yüksek sıklığı ve fonksiyonel sonuçları nedeniyle bu bölge dalış tıbbında en ayrıntılı incelenen alanlardan biridir (6,7).

Sinüs barotravması, sinüs ostiumlarının obstrüksiyonuna bağlı olarak gelişir. Özellikle frontal ve maksiller sinüslerde yüz ağrısı, basınç hissi ve bazen epistaksis görülebilir. İç kulak barotravması daha nadir olmakla birlikte klinik açıdan kritik bir tablodur; vertigo, tinnitus, sensorinöral işitme kaybı ve denge bozukluğu ile ortaya çıkabilir. İç kulak barotravması ile iç kulak dekompresyon hastalığı arasında klinik örtüşme bulunabileceğinden, ayırıcı tanı dalış profili ve semptom başlangıç zamanlaması dikkate alınarak yapılmalıdır (9,10).

Pulmoner barotravma, klinik açıdan en ciddi barotravma formudur. Yükseliş sırasında genişleyen gazın yeterli şekilde elimine edilememesi alveoler rüptüre ve gazın interstisyuma, mediastene, plevral boşluğa veya pulmoner venöz dolaşıma geçmesine neden olabilir. Bunun sonucunda pnömotoraks, mediastinal amfizem, subkutan amfizem veya arteriyel gaz embolisi gelişebilir. Pulmoner barotravma nispeten sığ derinliklerde de ortaya çıkabilir; çünkü yüzeye yakın basınç değişimleri mutlak hacim değişimi açısından en belirgin etkiyi oluşturur (3,12).

3.2 Arteriyel Gaz Embolisi ve Dekompresyon Hastalığı

Arteriyel gaz embolisi (AGE) ve dekompresyon hastalığı (DCS), sıklıkla “dekompresyon hastalığı spektrumu” içinde birlikte değerlendirilmekle birlikte, altta yatan mekanizmalar açısından farklılık gösterir. AGE’de gaz genellikle pulmoner barotravma sonucu arteriyel dolaşıma geçerken; DCS’de kabarcıklar çözülmüş inert gazın dekompresyon sırasında dokular ve damar içinde ayrışması sonucu oluşur. Bununla birlikte her iki durum da benzer klinik tablolar oluşturabilir ve acil yaklaşım ile hiperbarik tedavi prensipleri büyük ölçüde ortaktır (3,12).

AGE’nin en karakteristik özelliği semptomların ani başlangıç göstermesidir. Klinik bulgular çoğunlukla yükseliş sırasında veya yüzeye çıktıktan sonraki ilk dakikalar içinde ortaya çıkar. Ani bilinç kaybı, konfüzyon, fokal nörolojik defisitler, görme kaybı, afazi, konvülsiyon ve kardiyovasküler kollaps görülebilir. Serebral dolaşımın sık etkilenmesi nedeniyle AGE, akut

serebrovasküler olay ile karışabilecek bir klinik tablo oluşturabilir; ancak yakın zamanlı dalış öyküsü tanı açısından ayırt edicidir (3,12).

DCS daha heterojen bir klinik spektrum gösterir. Geleneksel sınıflamada Tip 1 daha çok deri ve kas-iskelet sistemi bulgularını; Tip 2 ise nörolojik ve kardiyopulmoner tutulumları ifade eder. Güncel yaklaşım ise organ-temelli sınıflamayı daha klinik olarak anlamlı ve yönlendirici kabul etmektedir (4).

Deri bulguları kaşıntı, döküntü ve cutis marmorata şeklinde ortaya çıkabilir. Kas-iskelet sistemi tutulumu genellikle büyük eklemler çevresinde derin, sızlayıcı ağrı ile karakterizedir. Nörolojik etkilenme serebral, spinal veya periferik olabilir; spinal kord tutulumu güçsüzlük, duyu kaybı, yürüme bozukluğu ve mesane disfonksiyonu ile seyrettiğinde klinik açıdan özellikle önemlidir. İç kulak tutulumu vertigo, tinnitus, işitme azalması ve denge bozukluğu ile kendini gösterebilir (3-5).

DCS patofizyolojisinde kabarcıkların etkisi hem mekanik hem de biyolojik düzeyde gerçekleşir. Mekanik etki damar lümeninde obstrüksiyon ve mikrosirkülasyon bozulması ile ilişkilidir; biyolojik etki ise endotel hasarı, inflamatuvar mediyatör salınımı, lökosit ve trombosit aktivasyonu ve kapiller geçirgenlik artışı ile karakterizedir. Bu nedenle bazı hastalarda semptomlar dalış sonrası hemen ortaya çıkmayabilir ve saatler içinde progresyon gösterebilir (3,5).

3.3 Gaz Toksisitesi, İmmersiyon Pulmoner Ödem, Sığ Su Bayılması ve Boğulma

İnert gaz narkozu, artmış azot parsiyel basıncının merkezi sinir sistemi üzerindeki etkisi sonucu gelişir. Klinik olarak dikkat, karar verme, yürütücü işlevler ve motor koordinasyonda bozulma ile karakterizedir. Öfori, yargılama kusuru, reaksiyon süresinde uzama ve uygunsuz risk alma davranışı görülebilir. Semptomlar genellikle daha sığ derinliğe çıkılmasıyla geriler; ancak bu süreçte gelişen bilişsel bozulma, ikincil kazalar açısından önemli risk oluşturur (8).

Oksijen toksisitesi, yüksek parsiyel oksijen basıncına maruziyet süresi ve şiddeti ile ilişkilidir. Santral sinir sistemi oksijen toksisitesinde fasiyal kas seğirmeleri, görsel değişiklikler, irritabilite, baş dönmesi ve ani konvülsiyon gelişebilir. Su altında gelişen konvülsiyon, regülatör kaybı ve aspirasyon riski nedeniyle yaşamı tehdit edici bir durumdur (9,13).

İmmersiyon pulmoner ödem, genellikle dalış sırasında veya erken dönemde gelişen dispne, öksürük ve bazen pembe köpüklü balgam ile karakterizedir. Soğuk su, yoğun efor, hipertansiyon ve artmış kardiyovasküler yük başlıca risk faktörleridir. İmmersiyon pulmoner ödemin tipik olarak dalış sırasında başlaması, kardiyopulmoner dekompresyon hastalığından ayırıcı tanıda önemli bir ipucu sağlar; ancak bu ayırım her zaman kesin değildir (10,11).

Sığ su bayılması, özellikle serbest dalışta hiperventilasyon sonrası gelişen hipokapniye bağlı olarak solunum dürtüsünün baskılanması sonucu ortaya çıkar. Bu durumda primer mekanizma hipoksik senkoptur ve bilinç kaybı sıklıkla yüzeye yakın bölgede meydana gelir; olayın mortalitesi çoğunlukla eşlik eden boğulmaya bağlıdır.

Boğulma, sıvı ortama batma sonucu gelişen solunum bozulması ile karakterizedir. Patofizyolojide aspirasyon, surfaktan bozulması, ventilasyon-perfüzyon uyumsuzluğu ve hipoksemi yer alır. Klinik tablo hafif semptomlardan akut solunum yetmezliğine kadar geniş bir spektrumda seyredebilir; bu nedenle erken klinik düzelme, komplikasyon gelişmeyeceği anlamına gelmez (14,15).

4. KLİNİK BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dalış kazalarında klinik değerlendirmeyi yönlendiren en önemli unsurlardan biri semptomların başlangıç zamanıdır. Dalış sırasında gelişen semptomlar daha çok barotravma, gaz toksisiteleri, immersiyon pulmoner ödem veya hipoksi ile ilişkili olabilirken; yüzeye çıktıktan sonra dakikalar ile saatler içinde ortaya çıkan semptomlar dekompresyon hastalığı veya arteriyel gaz embolisini düşündürür. Bununla birlikte bu zamanlama ayırımı mutlak değildir ve klinik değerlendirme her zaman çoklu olasılıkları içerecek şekilde yapılmalıdır (3,12).

Nörolojik bulgular prognoz açısından en kritik klinik grubu oluşturur. Baş dönmesi, vertigo, ataksi, parestezi, güçsüzlük, konuşma bozukluğu, görme değişiklikleri, konfüzyon, bilinç değişikliği ve konvülsiyon görülebilir. Spinal kord tutulumu özellikle alt ekstremité güçsüzlüğü, yürüme bozukluğu, duyu düzeyi ve mesane disfonksiyonu ile kendini gösterebilir. AGE'de semptomların ani ve dramatik başlangıç göstermesi, DCS'de ise daha değişken ve progresif bir seyir izlenmesi ayırıcı tanıda yardımcı olabilir; ancak bu iki tablo arasında belirgin klinik örtüşme bulunabilir (3,5).

İç kulak tutulumu, hem iç kulak barotravması hem de iç kulak dekompresyon hastalığında görülebilir. Vertigo, tinnitus, işitme kaybı ve denge bozukluğu bu iki durumda ortak bulgulardır. Bu nedenle ayırıcı tanı, dalış profili, semptomların başlangıç zamanı ve eşlik eden sistemik bulgular dikkate alınarak yapılmalıdır; iç kulak dekompresyon hastalığı şüphesinde erken hiperbarik oksijen tedavisi endikedir (6,16).

Kardiyopulmoner bulgular arasında dispne, öksürük, göğüs ağrısı, siyanoz, hipoksemi ve dolaşım bozuklukları yer alır. Pulmoner barotravmada ani dispne ve plöretik ağrı ön planda olabilirken; immersiyon pulmooner ödemde dalış sırasında progresif dispne ve öksürük daha tipiktir. Kardiyopulmoner dekompresyon hastalığında ise dispne, göğüs rahatsızlığı ve sistemik kötüleşme görülebilir. Pulmoner semptomlarla başvuran bir dalıcıta tek bir tanıya odaklanmak yerine eş zamanlı patolojilerin birlikte bulunabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (5,10,15).

Kas-iskelet sistemi ve deri bulguları genellikle daha hafif kabul edilse de klinik açıdan önemlidir. Büyük eklemlerde derin ağrı, hareketle artış, kaşıntı, döküntü, cutis marmorata ve lenfatik ödem dekompresyon hastalığının erken bulguları olabilir. Başlangıçta sınırlı bulgularla seyreden olgularda ilerleyen dönemde nörolojik tutulum gelişebileceğinden, bu semptomlar dikkatle değerlendirilmelidir (3,4).

5. ACİL YAKLAŞIM VE YÖNETİM

Dalış kazalarında acil yaklaşımın temel ilkesi, kesin tanıdan bağımsız olarak yaşamı tehdit eden fizyopatolojik süreçlerin hızlı şekilde tanınması ve yönetilmesidir. Bu nedenle ilk değerlendirme standart ABC yaklaşımına dayanır. Havayolu açıklığı, ventilasyon yeterliliği, dolaşım durumu ve bilinç düzeyi hızla değerlendirilmelidir. Boğulma şüphesinde primer sorun hipoksi olduğundan, ventilasyon desteği ve oksijenizasyon öncelikli olarak ele alınmalıdır (15).

Klinik değerlendirme sırasında dalışın derinliği, süresi, kullanılan gaz karışımı, yükselme profili, dekompresyon durakları, dalıştan sonra geçen süre ve semptomların başlangıcı eş zamanlı olarak sorgulanmalıdır (4).

Yüksek konsantrasyonda normobarik oksijen, dalış kazalarında en önemli ve en erken başlanması gereken tedavidir. Oksijen uygulaması inert gaz eliminasyonunu hızlandırır, doku oksijenlenmesini artırır ve kabarcık yükünün azaltılmasına katkı sağlar. Bu nedenle mümkün olan en kısa sürede yüksek akımlı oksijen tedavisi başlanmalı ve hasta hiperbarik tedaviye kadar kesintisiz olarak oksijenize edilmelidir (12,17).

Hastanın pozisyonu konusunda geçmişte önerilen Trendelenburg veya sol lateral dekübit pozisyonları güncel olarak rutin önerilmemektedir. Mevcut yaklaşım, hastanın hemodinamik olarak stabil olduğu ve aspirasyon riskinin minimize edildiği supin veya uygun pozisyonda tutulmasıdır. Ayrıca ısı kaybı önlenmeli, ancak aşırı ısıtmadan kaçınılmalıdır. Dehidratasyon sık görüldüğünden, kardiyopulmoner kontrendikasyon yoksa uygun sıvı desteği sağlanmalıdır.

Pulmoner barotravma şüphesi olan hastalarda pnömotoraks mutlaka değerlendirilmelidir. Tedavi edilmemiş pnömotoraks, hiperbarik oksijen tedavisi sırasında ciddi komplikasyonlara yol açabileceğinden, bu durum hiperbarik tedavi öncesinde mutlaka ekarte edilmeli veya tedavi edilmelidir (18).

DCS ve AGE'nin kesin tedavisi hiperbarik oksijen tedavisidir. Hiperbarik oksijen tedavisi, gaz kabarcıklarının hacmini azaltır, doku oksijenlenmesini artırır ve inflamatuvar süreçleri modüle eder. Erken rekompresyon tedavisinin nörolojik ve sistemik sonuçlar üzerinde belirgin iyileştirici etkisi olduğu gösterilmiştir (12,17).

Nakil sürecinde oksijen tedavisinin sürdürülmesi, vital bulguların izlenmesi ve ek hipobarik stresin önlenmesi önemlidir. Hava ambulansı kullanılacaksa kabin basıncı dikkate alınmalıdır. Nörolojik bulgular varlığında seri nörolojik değerlendirme yapılmalı ve özellikle spinal tutulum açısından idrar retansiyonu gibi bulgular aktif olarak araştırılmalıdır (5).

Antikoagülasyon ve steroid tedavileri DCS veya AGE için rutin tedavi seçenekleri değildir. Temel yaklaşım oksijen tedavisi, uygun sıvı desteği ve zamanında hiperbarik oksijen tedavisi uygulamasıdır (4).

6. ÖNLEME VE GÜVENLİK

Dalış kazalarının önlenmesi, multidisipliner bir yaklaşım gerektirir. Dalgıcın sağlık durumu, eğitimi, ekipmanı, davranışsal özellikleri ve çevresel koşullar birlikte değerlendirilmelidir. Kardiyovasküler risk faktörleri, pulmoner hastalıklar, otolojik problemler ve önceki dalış hastalıkları risk değerlendirmesinde özellikle dikkate alınmalıdır.

Dalışa uygunluk muayenesi güvenliğin temel bileşenidir. Özellikle orta kulak ve sinüs fonksiyonlarının değerlendirilmesi önemlidir; çünkü eşitleme bozukluğu olan bireylerde barotravma riski belirgin şekilde artar (6).

Eğitim ve deneyim, yalnızca teknik becerileri değil, aynı zamanda riskli durumlarda doğru karar verme kapasitesini de belirler. Bununla birlikte deneyim, tek başına koruyucu değildir; hatalı güven algısı ve prosedürlerden sapma deneyimli dalğıçlarda da kazalara yol açabilir. Konservatif dalğı planlaması, uygun yükselme hızı, dekompresyon kurallarına uyum ve gaz yönetimi DCS riskini azaltmada temel unsurlardır (4).

Ekipman güvenliği kritik öneme sahiptir. Regülatör, denge yeleği, tank ve hortum sistemlerinin düzenli kontrolü gereklidir. Dalğı öncesi yapılan sistematik ekipman kontrolleri (buddy check), birçok kazanın önlenmesinde basit ancak etkili bir yöntemdir.

Çevresel ve davranışsal faktörler de risk üzerinde belirleyicidir. Soğuk su, yoğun efor, hiperventilasyon ve uygun olmayan ekipman kullanımı IPO, hipotermi ve sığ su bayılması riskini artırabilir (10,11,15).

Dalğı sonrası dönemde de dikkatli olunmalıdır. Dalğı sonrası ortaya çıkan nörolojik, vestibüler, dermatolojik veya kas-iskelet sistemi bulguları hafif olsa dahi göz ardı edilmemeli ve erken dönemde değerlendirilmelidir (3,5).

7. SONUÇ

Dalğı kazaları, basınç değişiklikleri, gaz dinamikleri, immersiyonun kardiyopulmoner etkileri ve insan davranışının etkileşimi sonucu ortaya çıkan kompleks klinik durumlardır. Bu tabloların doğru yönetimi, yalnızca spesifik hastalıkların tanınmasına değil; aynı zamanda dalğı fizyolojisinin, semptom zamanlamasının ve klinik varyasyonların bütüncül olarak değerlendirilmesine dayanır.

Klinik spektrum, hafif barotravmalardan ağır nörolojik dekompresyon hastalığına ve arteriyel gaz embolisine kadar geniş bir yelpazede değişkenlik gösterir. Bu spektrum içinde ortak yönetim ilkeleri erken tanı, yüksek konsantrasyonda oksijen uygulaması, yaşamı tehdit eden durumların hızlı tanınması ve uygun hiperbarik merkeze zamanında yönlendirmedir (3,12,17).

Bununla birlikte en etkili yaklaşım önlemedir. Dalğıya uygunluk değerlendirmesi, eğitim, konservatif planlama, ekipman güvenliği ve erken semptom farkındalığı ile dalğı kazalarının önemli bir kısmı önlenabilir. Bu nedenle dalğı tıbbında optimal yaklaşım, akut klinik yönetim ile koruyucu stratejilerin birlikte ele alındığı bütüncül bir modeldir.

KAYNAKLAR

1. Hornsby, A. "Models for estimating the diver population of the United States: an assessment." *Recreational Diving Fatalities. Proceedings of the Divers Alert Network 2010 April* (2011): 8-10.
2. Sadler C, Alvarez Villela M, Van Hoesen K, et al. Diving after SARS-CoV-2 (COVID-19) infection: fitness to dive assessment and medical guidance. *Diving Hyperb Med.* 2020;50(3):278-287. doi:10.28920/dhm50.3.278-287
3. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet.* 2011;377(9760):153-164. doi:10.1016/S0140-6736(10)61085-9
4. Pollock NW, Buteau D. Updates in decompression illness. *Emerg Med Clin North Am.* 2017;35(2):301-319. doi:10.1016/j.emc.2016.12.002
5. Mitchell SJ. Decompression illness: a comprehensive overview. *Diving Hyperb Med.* 2024;54(1 Suppl):1-53. doi:10.28920/dhm54.1.suppl.1-53
6. Livingstone DM, Smith KA, Lange B. Scuba diving and otology: a systematic review with recommendations on diagnosis, treatment and post-operative care. *Diving Hyperb Med.* 2017;47(2):97-109. doi:10.28920/dhm47.2.97-109
7. Freeman P, Edmonds C. Inner ear barotrauma. *Arch Otolaryngol.* 1972;95(6):556-563. doi:10.1001/archotol.1972.00770080846010
8. Rostain JC, Lavoute C. Neurochemistry of Pressure-Induced Nitrogen and Metabolically Inert Gas Narcosis in the Central Nervous System. *Compr Physiol.* 2016;6(3):1579-1590. Published 2016 Jun 13. doi:10.1002/cphy.c150024
9. Wingelaar TT, van Ooij PAM, van Hulst RA. Oxygen toxicity and special operations forces diving: hidden and dangerous. *Front Psychol.* 2017;8:1263. Published 2017 Jul 25. doi:10.3389/fpsyg.2017.01263
10. Wilmshurst PT. Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving Hyperb Med.* 2019;49(1):30-40. doi:10.28920/dhm49.1.30-40
11. Banham N, Smart D, Wilmshurst P, Mitchell SJ, Turner MS, Bryson P. Joint position statement on immersion pulmonary oedema and diving from the South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) and the United Kingdom Diving Medical

Committee (UKDMC) 2024. *Diving Hyperb Med.* 2024;54(4):344-349. doi:10.28920/dhm54.4.344-349

12. Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression sickness and arterial gas embolism. *N Engl J Med.* 2022;386(13):1254-1264. doi:10.1056/NEJMra2116554
13. Brubakk, Alf O., Tom S. Neuman, and David Hallen Elliott, eds. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving.* Saunders Limited., 2003.
14. Szpilman D, Bierens JJLM, Handley AJ, Orłowski JP. Drowning. *N Engl J Med.* 2012;366(22):2102-2110. doi:10.1056/NEJMra1013317
15. Szpilman D, Morgan PJ. Management for the drowning patient. *Chest.* 2021;159(4):1473-1483. doi:10.1016/j.chest.2020.10.007
16. Lindfors OH, Räisänen-Sokolowski AK, Hirvonen TP, Sinkkonen ST. Inner ear barotrauma and inner ear decompression sickness: a systematic review on differential diagnostics. *Diving Hyperb Med.* 2021;51(4):328-337. doi:10.28920/dhm51.4.328-337
17. Moon RE, Mitchell SJ. Hyperbaric treatment of air or gas embolism: current recommendations. *Undersea Hyperb Med.* 2025;52(1):41-53.
18. Gawdi R, Yrastorza J, Cooper JS. Hyperbaric Oxygen Therapy Contraindications. In: *StatPearls.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; May 27, 2025.

BİR DALIŞ SİMÜLASYONU: HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİNİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI

Doç. Dr. Münire Kübra Özgök Kangal

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yüzyıllardır fizyolojik olarak adapte olabileceği en olağan dışı koşullara kadar kendi sınırlarını zorlamayı başarmıştır. Özellikle su altı ortamlarında farklı dalış teknikleriyle derinlikleri keşfetmeye devam etmektedir. Su altı ortamında maruz kalınan yüksek basıncın getirdiği patolojik değişimler, hiperbarik oksijen tedavisinin modern kullanımının gelişimine sebep olmuştur. Hiperbarik oksijen tedavisinde, sualtı dalışına benzer bir ortam, kuru ve kapalı bir basınç odasında simüle edilmektedir. Hem tedavi, hem dalış kazalarının önlenmesi hem de fizyolojik deneylerde kullanılan basınç odaları aslında tamamen bir dalış simülasyonudur. Bu yazıda hiperbarik oksijen tedavisinin gelişimi ve klinik kullanım alanları ele alınacaktır.

2. TARİHÇE

İlk olarak 1662 yılında Henshaw kapalı bir basınç odası geliştirmiş, içerisini hava ile basınçlandırmış ve bu odaya “Domicilium” adını vermiştir. Kronik hastalıklara iyi geldiğini öne sürerek tedavi amacıyla kullanmıştır. Oksijen ise bundan yaklaşık 100 yıl sonra 1774 yılında Joseph Priestley tarafından keşfedilmiştir (1).

Yıllar boyunca farklı kronik hastalıklarda basınç odaları kullanılmış; ancak bu zaman dilimindeki en önemli gelişme 1878 yılında Paul Bert'in, hiperbarik koşullar altında fizyolojinin nasıl etkilendiğine dair “La Pression Barometrique” isimli kitabı yayınlanması olmuştur. Ardından ilk defa 1885 yılında bir tünel işçisi “Kezon Hastalığı” (Dekompresyon hastalığı, Vurgun) nedeniyle basınç odasında başarılı bir şekilde tedavi edilmiştir (1).

1917 yılında ise John Scott Haldane tarafından ilk dekompresyon tabloları oluşturulmuştur. 1928 yılında ABD’de Cunningham tarafından çapı 19.5 metre olan küresel olarak tasarlanmış dünyanın en büyük basınç odası inşa edilmiştir. Birçok hastalığın (diyabet, kanser, anaerobik enfeksiyonlar, İspanyol gribi, vb...) tedavisinde uygulanmış olup, bilimsel olarak sonuçlar literatürde paylaşılmamıştır (1).

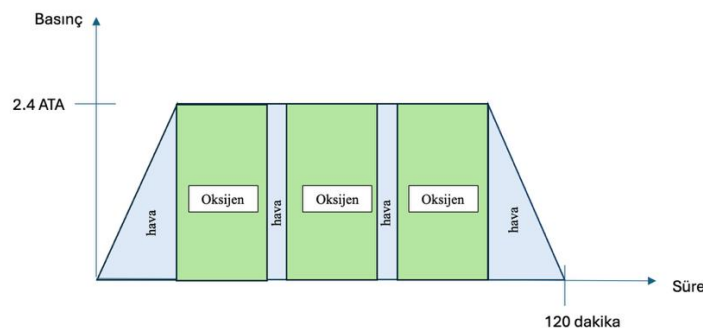
1954 yılına geldiğimizde ise Prof. Dr. Ite Boerema hiperbarik oksijen tedavisi ile ilgili çalışmalarına başlamıştır. Modern hiperbarik tıbbın başlangıcı olarak kabul edebiliriz. 1956 yılında hiperbarik oksijen tedavisi uygulanan bir basınç odası içerisinde kardiyak cerrahi uygulamalarına başlamış ve böylece kalp atımının olmadığı sürenin toleransının hiperbarik

oksijen tedavisi koşullarında arttırılabildiği görülmüştür. Bu durum kardiyak cerrahiler esnasında avantaj sağlamıştır. Ayrıca Boerema domuz deneylerinde eritrositler olmadan hiperbarik oksijen tedavisi (3 ATA) koşullarında sadece plazma ile hayatta kalabildiklerini göstermiş ve bu olay gündeme “kan olmadan yaşam” olarak gelmiştir. 1960 yılında basınç odası içerisinde ilk açık kalp ameliyatı gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem günümüzde kullanılmamaktadır (1).

Ülkemizde ise, hiperbarik tıbbın tarihçesi resmi olarak Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Çubuklu Kurtarma Sualtı Komutanlığı ile İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Kürsüsü arasında 1976 yılında imzalanan bir protokol ile başlamıştır.

3. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ

Hiperbarik oksijen tedavisi, yüksek basınçlı bir kapalı ortamda aralıklı olarak %100 oksijen solutulan bir tedavi yöntemidir. Deniz seviyesinde absolut basıncın 1 atmosfer (1 ATA) olduğu kabul edilir. Hiperbarik oksijen tedavisinde ise, tedavi edici amaçlar için kullanıldığında 1.4 ATA (atmosfer absolute) veya üzerindeki basınçlara çıkılır. Hastalıklara göre tercih edilen farklı tedavi protokolleri olmakla beraber, sıklıkla rutinde uygulanan tedavi protokolünde hastalar basınç odası içerisinde toplam 2.4 ATA basınca maruz bırakılır. Bu protokolda bir seans toplam 2 saat sürer ve hastalar toplam 3 periyod (yaklaşık 25-30 dakikalık) %100 oksijen solur. Her bir oksijen periyodu arasında maskeler çıkartılı ve hava solunan “hava molası” verilir. Bu hava molalarında çevre basıncı 2.4 ATA’da sabittir. Şekil 1’de rutin bir tedavi protokolü şematize edilmiştir. Farklı hastalıklarda farklı tedavi protokolleri kullanılabilir. Bu protokollerde tedavi süresi, tedavi basıncı ve solutulan gazlar da değişebilir. Genellikle seanslar günde bir defa uygulanır ancak bazı hastalıklarda günde 2 veya 3 defaya kadar uygulamalar gerekebilir. Hastalıklara göre tamamlanacak seans sayısı değişmektedir. (2,3)



Şekil 1. Örnek bir Hiperbarik Oksijen Tedavisi protokolü

Şekilde de görüldüğü üzere dip basıncı olan 2.4 ATA'ya ulaşana kadar belirli bir süre geçer, bu faza “**kompresyon**” fazı denir. Benzer şekilde tedavinin son kısmı olan atmosfer basıncına düşerken de belirli bir süre geçer ve bu faza da “**dekompresyon**” fazı denir. Kompresyon ve dekompresyon fazları yaklaşık 10-15 dakika sürer. Görüldüğü üzere, basınç artış ve düşüşleri aniden yapılmaz, yavaş yavaş yapılır. Bunun sebebi basınç değişimi ile ilişkili ortaya çıkabilecek “**barotravma**” olarak adlandırılan sorunların yaşanmamasını sağlamaktır. Yani kompresyon ve dekompresyon fazları kontrollü biçimde idame ettirilir. Hastanın durumuna göre bu fazlar uzatılabilir.

Hiperbarik oksijen tedavisi çok kişilik veya tek kişilik basınç odalarında uygulanabilir. Ülkemizde sıklıkla çok kişilik basınç odaları kullanılmaktadır. (Şekil 2) Çok kişilik basınç odalarında sağlık personeli olan bir iç yardımcı da hastalara eşlik eder. Hastaların tedavisi boyunca hastaların yanında durur. Bunun sebebi, basınç odası basınçlandırıldıktan sonra kapılarının açılabilmesi için tekrar ortam basıncına döndürülmesi gerekir. Hızlı bir basınç değişimi uygulanırsa hastalarda barotravma gelişir. Bu nedenle ani olarak basınç düşürülmez. Acil durumlarda hastalara müdahale edebilmek için dışarıdan bir sağlık personelinin basınç odası içerisinde ulaşması veya hastanın basınç odası dışına çıkartılması bir süre alacaktır. Bu nedenle, acil müdahaleler için veya maske takıp çıkarırken hastalara yardımcı olmak için çok kişilik basınç odalarında tedaviler esnasında bir sağlık personeli hastalara eşlik edebilmektedir. Tek kişilik basınç odaları ise diğer hastalardan izole edilmesi gereken immunsupresif hastalar için veya yatarak tedavi alması gereken hastalar için tercih edilmektedir. (Şekil 3)



Şekil 2. Kliniğimizde bulunan çok kişilik basınç odası



Şekil 3. Kliniğimizde bulunan tek kişilik basınç odası

Basınç odaları hava ile basınçlandırılmaktadır. Hastalar ise “maske” ile (Şekil 4) veya “hood” adı verilen özel başlıklar (Şekil 5) aracılığıyla %100 oksijen solurlar. “Hood” içerisine tüm baş girer, boyuna ise lastik kısmı oturur. Böylece baş çevresinde baloncığa benzeyen kapalı bir ortam oluşur. Bu ortam içerisine sürekli akış ile %100 oksijen doldurulur. Özellikle yüz bölgesine maske oturtulamayan hastalarda (yanık, yara vb nedenler ile) “hood” tercih edilebilir. Son olarak, entübe olan yoğun bakım hastalarında ise %100 oksijen solutulması endotrakeal tüp aracılığıyla idame ettirilir. Nadiren özel durumlarda tek kişilik basınç odaları oksijen ile basınçlandırılıp hastaların ortamdaki oksijen solunması sağlanabilir.



Şekil 4. Maske ile oksijen solutulması



Şekil 5. Hood adı verilen özel başlık

4. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ ETKİ MEKANİZMASI

Hiperbarik oksijen tedavisi temel olarak iki mekanizma üzerinden etki eder; yüksek basınç ve yüksek oksijen. Yüksek basıncın vücudumuzda yarattığı etkiler bir sualtı dalışında yaşanan etkiler ile oldukça benzerdir ve bunların temelinde fizik kanunları yer almaktadır (2-6). Önceki bölümde sualtı fizyolojisi bölümünde bu mekanizmalar detaylı biçimde açıklanmıştır.

A. Yüksek basınçla ilişkili etkiler

Boyle kanunu ile ilişkili olarak hiperbarik oksijen tedavisi esnasında vücut içerisinde içi hava dolu olan boşluklar küçülür. Bu etki özellikle vurgun (dekompresyon hastalığı) ve arteriyal gaz embolisinde oldukça başarılı sonuçlar elde etmemizi sağlar. İki hastalığın da patofizyolojisinde temel sorun damar içerisinde ve çeşitli dokularda oluşan gaz kabarcıkları ve bunların oluşturduğu sekonder dolaşım bozukluğudur. Tedavi esnasında basıncı arttırdıkça bu gaz kabarcıklarının boyutu küçülecektir. Ayrıca yüksek basınç sayesinde plazmada çözünen oksijeni artırarak, dokulara taşınan oksijen miktarını da artırır (2-5). Bir sonraki bölümde daha detaylı anlatılacaktır.

B. Yüksek oksijen ile ilişkili mekanizmalar

Tedavi esnasında yüksek basınç altında %100 oksijen solutulması sonucunda hiperoksijenasyon, anti-enfektif etkiler, vazokonstriksiyon, anti-ödem, anjiyogenez ve yara iyileşmesinde çeşitli olumlu etkiler sağlanır (2-6).

Hiperoksijenasyon: Oksijenin çoğu kanda hemoglobinle bağı şekilde taşınmaktadır. Ancak oksijenin az bir kısmı da plazma da çözülmüş vaziyette taşınır. Deniz seviyesinde, ortam havası yaklaşık %21 oksijenden oluşur. Deniz seviyesinde hava soluyan bir insanda arteriyal oksijen parsiyel basıncı 100 mmHg iken, doku oksijen basıncı 55 mmHg'dir. 2.4 ATA basınç altında %100 oksijen soluyan bir insanda, arteriyal oksijen parsiyel basıncı 1700 mmHg, subkutan doku oksijen parsiyel basıncı 250-500 mmHg olarak ölçülmüştür (6). Bu artış, Henry kanunu ile açıklanır. Hiperbarik oksijen tedavisi, yüksek basınç altında plazmada çözünen oksijeni arttırarak dokuların yüksek düzeyde oksijenlenmesini arttırır (5). Ayrıca hiperbarik oksijen tedavisi esnasında oksijenin diffüze olabildiği mesafe de artar. Örneğin 3 ATA altında %100 oksijen soluyan bir kişi de bu mesafe arteriyal uçta 4 kat, venöz uçta 2 kat artar (6). Bu hiperoksijenasyon etkisi, akut karbonmonoksit zehirlenmesi, iskemik (kanlanmayan) yaralarda, ani görme kayıplarında (santral retinal arter tıkanıklıkları), tutması şüpheli flep greft gibi temelinde hipoksi olan endikasyonlarda fayda sağlar.

Anti-enfektif etki: Hiperbarik oksijen tedavisi oksijenasyonu arttırarak lökositlerde oksijen bağımlı çalışan bakteriyal öldürme yollarını güçlendirir. Aynı zamanda anaerob (oksijensiz ortamda çoğalan) enfeksiyonlarda aşırı oksijenli bir ortam sağlayarak mikroorganizmaların çoğalmasını engeller. Bazı antibiyotiklerin etkinliğini de arttırmaktadır (2-6).

Vazokonstriksiyon: Yüksek oksijene bağı ortaya çıkan vazokonstriksiyon etkisi ile ödem geriler. Bu etki kronik yaralar, post-travmatik yaralarda gelişen aşırı ödem nedeniyle ödemi gerileterek, ilgili alanda dolaşımın düzelmesini sağlar (2-6).

Anjiyogenez: Hiperbarik oksijen tedavisi çeşitli mekanizmalarla vücutta yeni damar oluşumunu arttırır. Böylece kronik yarası olan hastalarda, radyonekroz hasarı olan hastalarda hastalıklı dokunun sağlıklı bir dolaşım ağına sahip olmasında yardımcı bir etki sağlar (2-6).

Yara iyileşmesi: Yara iyileşmesinin her basamağında oksijenin yeri vardır. Temelinde hipoksi yatan kronik yaraların iyileşmesinde de yüksek doku oksijen basıncı sağlayarak her basamakta yara iyileşmesini destekler. Diyabetik ayak ülserleri, periferik arter hastalıkları, radyonekroz, vb iyileşmeyen yaralarda hiperbarik oksijen tedavisinden faydalanılabilir (2-6).

5. ENDİKASYONLAR

Hiperbarik oksijen tedavisi günümüzde birçok hastalıkta başarıyla uygulanmaktadır. Ancak bu hastalıkların bir kısmında multidisipliner yaklaşım (birçok branşın tedaviye dahil olması) gereklidir. Bu nedenle bu hastalıkların bir kısmında tek başına hiperbarik oksijen tedavisinin uygulamasının faydalı olmayacağı unutulmamalıdır. Örneğin kronik yara hastalarında, uygun yara bakım, gerekli antibiyoterapi desteği alınmadan tek başına bu tedavi etkili olamaz. Ancak

dekompresyon hastalığı, karbonmonoksit zehirlenmesi gibi bazı hastalıklarda ise temel tedavi olarak hiperbarik oksijen tedavisi uygulanır (2,7,8).

Temel Endikasyonlar;

- İyileşmeyen yaralar
- Radyonekroz
- Avasküler nekroz
- Intrakranial abseler
- Ani idiyopatik işitme kaybı
- Kronik refrakter osteomyelit

Acil Endikasyonlar

- Akut karbonmonoksit zehirlenmesi
- Dekompresyon hastalığı
- Arteriyal gaz embolisi
- Akut travmatik periferik iskemiler
- Ani görme kaybı (retinal arter tıkanıklıkları)
- Nekrotizan yumuşak doku enfeksiyonları
- Anoksik beyin hasarı

6. İSTENMEYEN ETKİLER

Yüksek basınca bağlı olarak en sık görülen yan etki barotravmalardır. En sık görülen barotravma kulak ve sinüs barotravmasıdır. En tehlikeli olan barotravma ise akciğer barotravmasıdır. Bu etkiler sualtı dalışlarında da görülebilen istenmeyen etkilerdir (3).

Bir diğer önemli yan etki ise yüksek oksijene bağlı olarak özellikle santral sinir sisteminde oksijen toksisitesi gelişmesidir. Hastalar buna bağlı olarak nöbet geçirebilirler (3,6).

Ayrıca yüksek oksijene ve yüksek basınca bağlı olarak yangın riski vardır. Bu nedenle sıkı önlemler alınmaktadır.

7. KONTRAENDİKASYONLAR

Kesinlikle hiperbarik oksijen tedavisi uygulanamayacak olan tıbbi durum aktif pnömotoraks varlığıdır. Pnömotoraks, normalde içerisinde hava bulunmayan akciğer dışındaki zarların arasında hava girmesidir. Hiperbarik oksijen tedavisi esnasında basınç değişikliklerine

bağlı gaz hacmi değişeceği için aktif pnömotoraksı olan hastalar bu basınç değişikliklerine maruz bırakıldığında pnömotoraks şiddetlenecek ve hayatı tehdit eden boyuta ulaşabilecektir.

Diğer yandan epilepsi öyküsü, kalp yetmezliği, akciğerde hava hapsi alanlarının varlığı, üst solunum yolu enfeksiyonu, gibi hiperbarik oksijen tedavisinin göreceli kontraendikasyonları da vardır. Bu tarz durumlarda ise uzman doktor kar-zarar olarak değerlendirilerek kişinin durumuna göre karar verebilir. Örneğin, karbonmonoksit zehirlenmesi olan gebelerde bebeğin tedavi edilebilmesi için hiperbarik oksijen tedavisi mutlaka önerilirken, diğer hastalıklarda gebelik nedeniyle hiperbarik oksijen tedavisi önerilmeyebilir (2,6).

8. ÜLKEMİZDE BULUNAN HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ MERKEZLERİ

Dünyadaki birçok ülke gibi ülkemizde de, her şehirde bir basınç odası yoktur. Ancak, Amerika ve Avrupa'daki birçok ülke ile karşılaştırıldığında hem maliyet hem de lojistik olarak çok daha kolay ulaşılabilir bir hizmettir. Ankara, İstanbul, İzmir, Konya, Kocaeli, Bolu, Bursa, Antalya, Adana, Mersin, Kayseri, Çanakkale, Denizli, Eskişehir, Erzurum, Van, Diyarbakır, Gaziantep, Şanlıurfa, Hatay, Mersin, Manisa, Muğla, Samsun, Sakarya, Sivas, Trabzon ve Malatya'da en az birer hiperbarik oksijen tedavi merkezi mevcuttur (9).

Ankara'da 2 devlet kurumu (SBÜ-Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Etlik Şehir Hastanesi) ve 2 özel merkez olmak üzere toplam dört adet hiperbarik oksijen tedavi merkezi vardır.

Ülkemizde aktif uzmanlık eğitimi verilen kurumlar alfabetik olarak sıralanmıştır;

- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi
- İstanbul Üniversitesi- İstanbul Tıp Fakültesi
- SBÜ - Hamidiye Tıp Fakültesi
 - İstanbul Kartal Dr. Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi
 - Konya Şehir Hastanesi
- SBÜ - Gülhane Tıp Fakültesi
 - Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi

9. SONUÇ

Hiperbarik oksijen tedavisi günümüzde birçok hastalıkta başarıyla uygulanan bir tedavi yöntemidir. Birçok farklı branş ile ortak takip edilen birçok hasta vardır. Bu nedenle pratisyen hekimler dahil olmak üzere tüm hekimlerin bu tedavi yöntemi hakkında temel düzeyde bilgi sahibi olması oldukça önemlidir. Üstelik birçok ilimizde aktif bir hiperbarik

merkezi bulunmaktadır. Bu açıdan, hiperbarik oksijen tedavisi hakkında hekimlerdeki farkındalığın artırılması oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Haux GFK. *History of hyperbaric chambers*. Flagstaff, AZ: Best Publishing Company; 2000.
2. Huang ET. *Hyperbaric oxygen therapy indications*. 15th ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Company; 2024.
3. Jain KK. *Textbook of hyperbaric medicine*. Switzerland: Springer International Publishing; 2017.
4. Neuman TS, Thom SR. *Physiology and medicine of hyperbaric oxygen therapy*. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier; 2008.
5. Kahle AC, Cooper JS. Hyperbaric physiological and pharmacological effects of gases. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; Updated July 10, 2023. Accessed April 22, 2026. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470481/>
6. Cimşit M. *Hiperbarik tıp*. Ankara: Eflatun Yayınevi; 2009:127-143.
7. Mathieu D, Marroni A, Kot J. Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment. *Diving Hyperb Med*. 2017;47(1):24-32.
8. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). Güncel SUT duyuruları. Accessed April 22, 2026. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/merkez-teskilati/ana_hizmet_birimleri/gss_genel_mudurlugu/anasayfa_duyurular/guncel_sut_28122018
9. Sualtı ve Hiperbarik Tıp Derneği. *Uzmanlar*. Erişim tarihi: 15 Nisan 2026. http://sualti.org/?page_id=11

SIFIRIN ALTINDA TIP: KUTUP KOŞULLARINDA HEKİMLİK

Doç. Dr. Bengüsu Mirasoğlu

İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp AD.

1. GİRİŞ

Kutup bölgeleri, sahip oldukları ekstrem çevre koşulları ve jeopolitik konumları nedeniyle günümüzde küresel bilimsel araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Bu bölgelerin zorlu doğası ve anakaradan izolasyonu göz önüne alındığında, bilimsel seferlerin başarısında nitelikli tıbbi destek ve katılımcıların sağlığının sürdürülebilirliği önemli bir yer tutar. Kutuplarda sağlık hizmetleri; operasyon öncesi titiz bir hazırlık sürecinden sahada kısıtlı olanaklarla sunulan acil müdahaleye kadar, geleneksel tıbbın sınırlarını aşan özgün bir disiplin teşkil etmektedir.

2. KUTUPLARI ÖĞRENELİM: ARKTİK VE ANTARKTİK

Arktik (Kuzey Kutbu) ve Antarktik (Güney Kutbu), ilk bakışta birbirine çok benzeyen beyaz dünyalar gibi görünse de, fiziksel ve coğrafi yapıları bakımından birbirinin tam zıttı özelliklere sahiptir. Kuzey Kutbu yani Arktik karalarla çevrili bir denizdir ve tamamen deniz buzundan oluşmaktadır. Altında bir kara yoktur. Antarktika ise denizlerle çevrili bir kara parçasıdır ve üzerinde binlerce metre kalınlığında buz tabakası bulunan devasa bir kıtadır. Bazı bölgelerde buzun kalınlığı 4.500 metreyi bulur. Dünyadaki tatlı suyun yaklaşık %70'ini barındıran devasa bir buz kalkanıdır. Arktikte ise buzlar genellikle deniz üzerinde yüzer ve kalınlıkları mevsimsel olarak değişmekle birlikte genellikle 2 ila 4 metre arasındadır. Kutuplarda canlılık da farklıdır. Antarktika penguenler ve fokların eviyken, Arktik'in sembol canlısı kutup ayısıdır. Ayrıca beyaz tilkiler de burada bulunur. Kuzey'de bir yerli halk vardır ancak güneyde bilim üsleri dışında insan yaşamaz. İki bölgenin hukuki statüsü de birbirinden tamamen farklıdır. Arktik bölgesi ülkelere aittir.

Antarktika ve Arktik, sadece fiziksel olarak değil, uluslararası hukuk ve yönetim biçimleri açısından da birbirine taban tabana zıt iki model sunar. Biri "hiçbir devlete ait olmayan" bir kıtayken, diğeri "kıyıdaş devletlerin egemenlik haklarının" ön planda olduğu bir okyanustur. Antarktika'da bazı ülkelerin (Arjantin, Avustralya, Şili, Fransa, Yeni Zelanda, Norveç ve Birleşik Krallık) geçmişten gelen toprak iddiaları vardır ancak 1959 yılında bu

egemenlik iddialarını donduran ve kıtayı bilim ve barış kıtası ilan eden Antarktika Antlaşmalar Sistemi (ATS) imzalanmıştır (1). Başta toprak iddiası olan bu ülkelerin yanında Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Belçika, Güney Afrika ve Norveç'in katılımlarıyla 12 ülke tarafından imzalanan bu antlaşmaya sonradan pek çok ülke taraf olmuştur. Güncel olarak 56 taraf ülke vardır. Bu ülkelerin 29'u kıta ile kararlarda oy verme ve söz söyleme hakkına sahip olan danışman ülkeler, 27'si ise bu haklara sahip olmayan gözlemci ülkelerdir. Bir gözlemci ülkenin danışman ülke olabilmesi için, üssünün olması ve bilimsel çalışmalar ile kıtaya ilgisini kanıtlanması gereklidir. Ülkemiz, Antlaşmaya 1995 yılında taraf olmuştur ve şu an gözlemci statüsündedir. Antarktika ile ilgili bir önemli antlaşma da Madrid Protokolü olarak bilinen 1991 yılında imzalanmış olan Antarktika Antlaşması Çevre Koruma Protokolü'dür. Kıtadaki tüm çevresel faaliyetleri (atık yönetiminden ekosistem korunmasına kadar) sıkı kurallar ile düzenleyen bu protokolün en can alıcı noktası kıtada ticari madencilik ve petrol arama faaliyetlerini yasaklamasıdır (2). Bu yasak süresiz olarak tanımlanmış olmakla beraber 2051 yılında gözden geçirilecektir.

Arktik bölgesi için Antarktika'da olduğu gibi tek bir kapsayıcı "Arktik Antlaşması" yoktur. Bunun yerine genel uluslararası hukuk kuralları ve bölgesel iş birlikleri geçerlidir. Arktik bölgeyi çevreleyen sekiz ülke (Rusya, Kanada, ABD, Norveç, Danimarka/Grönland, İsveç, Finlandiya, İzlanda) vardır ve egemenlik hakları bu devletlerindir. Bölge ile hak iddiaları ise genel olarak Birleşmiş Milletler (BM) Deniz Hukuku Sözleşmesi (UNCLOS) çerçevesinde yürütülür ve buna göre kıyıdaş devletler olarak adlandırılan ülkeler (Rusya, Kanada, ABD, Norveç, Danimarka/Grönland), kıyı şeritlerinden itibaren belirli bir mesafeye kadar (Münhasır Ekonomik Bölge) doğal kaynaklar üzerinde hak sahibidir. 1996 yılında kurulan Arktik Konseyi ise bölgedeki sekiz devletin çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma konularında iş birliği yaptığı bir forumdur. Askeri güvenlik konularının ele alınmadığı bu konseyde yer halk temsilcileri de bulunur ve konseyin bir amacı da yerel halkın haklarının korunmasıdır. Konseyde, oy hakkı olmayan, ana rolleri konseyin çalışma gruplarına bilimsel katkı sunmak ve projeleri finanse etmek olan 13 gözlemci ülke de vardır. Antarktika'nın aksine ticari ve madencilik faaliyetlerine açık olan Arktik bölgenin, yeni ticaret rotaları ve zengin yer altı kaynakları açısından önemli fırsatlar içerdiği düşünülmektedir. Bu nedenle pek çok ülke gözlemci statüsü kazanarak ileride bu fırsatlardan faydalanabilme şansı olacağını düşünmektedir. Türkiye de bu statü için başvuru yapmıştır. Kuzey kutbundaki faaliyetlerin düzenlenmesinde önemli bir başka antlaşma da Svalbard Antlaşması'dır. On dört ülke tarafından imzalanan ve 48 ülkenin taraf olduğu bu antlaşma Norveç'in Svalbard bölgesine özel

bir statü vermektedir (3). Buna göre bölgede Norveç'in egemenliğini tanınır ve Norveç yasaları geçerlidir ancak taraf ülkelerin bölgede bilimsel araştırma ve ticari faaliyet yapma hakkı vardır. Türkiye, Svalbard Antlaşması'na 2024 yılında taraf olmuştur. Ülkemiz 2019 yılından beri düzenli olarak Ulusal Arktik Bilim Seferleri gerçekleştirmekte, bölgedeki bilimsel varlığını güçlendirmekte ve bu sayede de gözlemcilik şansını arttırmaktadır. Antlaşmaya taraf olunması ile bilimsel faaliyetlerin daha da artacağı düşünülebilir.

3. ANTARKTİKA BİLİM SEFERLERİ

Türk bilim seferi olarak adlandırılan çalışmaların ilki 2017'de yapılmış olsa da Antarktika seferlerine yönelik çalışmalar çok daha önce başlamıştır. 2010'lu yılların başından itibaren çalıştaylar yapılmış, bilim programları oluşturulmuş, idarecilerle görüşmeler başlatılmıştır. Sonunda 2016 yılında 13 kişilik bir ekip bölgeye gitmiş, Ukrayna ekibi ile ön çalışmalar yapmıştır. Bundan sonra ise bilim üssünün kurulması çalışmalarına başlanmıştır. Bir ülkenin kıtada üs kurulabilmesi için Madrid Protokolü'nü kabul etmesi ve imzalaması gereklidir. Ülkemizin, Madrid Protokolü'nü 2017'de kabul etmesi ile üs çalışmaları da hızlanmıştır ve 2019'da kalıcı üsse dönüşmesi planlanan kampımız kurulmuştur. 2017 yılından beri her yıl bilim seferleri düzenli olarak yapılmaktadır. İlk zamanlarda İstanbul Teknik Üniversitesi Kutup Araştırmaları Merkezi'ne bağlı yürütülen çalışmalar 2019'da TÜBİTAK bünyesine geçmiş, o zamandan beri TC Cumhurbaşkanlığı Himayesi ve TC Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde olacak şekilde Marmara Araştırma Merkezi- Kutup Araştırmaları Enstitüsü (MAM-KARE) tarafından koordine edilmektedir. Yapılan seferlere onlarca bilim insanı katılmış ve pek çok proje yapılmıştır.

4. KUTUPLARDA HEKİMLİK

Antarktika dünyanın en soğuk, en kurak, en rüzgarlı, ortalama yüksekliği en fazla olan ve en izole bölgesidir. Ortalama yüksekliği 2.000 metrenin üzerinde olan bir kıta olduğu için (yükseklik arttıkça hava soğur) sıcaklıklar iç kısımlarda -80°C'ye kadar düşebilir. Ayrıca atmosfer oldukça kuru, ultraviyole (UV) seviyeleri oldukça yüksektir. Yaz - kış dönemine göre uzun süre aydınlık ya da karanlık olur. Sınırlı ve kapalı bir alanda bir arada yaşam koşulları da olabilir. Dolayısı ile bu bölgede çalışacak herkesin ister bilim insanı ister destek personeli olsun bu ekstrem koşullarda çalışmaya uygun olması gereklidir. Bununla birlikte kıta her türlü sağlık

hizmetinin ve olanaklarının son derece kısıtlı olduğu bir yerdir. Gelişmiş sağlık hizmetinin verilebildiği merkezler yalnızca bir kaç ũlkenin bilim ũslerinde bulunur ve bunlara ulaşmak bile gũnler sũrebilir. Burada çalışacak kişilerin sağlık açısından uygun olması karşılaşılabilecek riskleri azaltmak açısından da önemlidir. Bireysel hastalıklar sadece kişinin kendisini veya görevi değil, diğer katılımcıların ve seferin gũvenliđini de etkilemektedir.

Bu zor koşullar ve kısıtlılık, Antarktika ile ilgili sağlık hizmetinin de temelini oluşturur. Hizmetin birinci ayağı katılımcıların sağlık durumlarının değerlendirilmesi, varsa hastalık ya da durumun kontrol altına alınıp gidebilmeye uygun hale getirilmesi, sefere katılmaya engel bir durum varsa bunun saptanmasını içerir. Bunun için her katılımcı fizik muayene, kan ve idrar tetkikleri, solunum ve işitme fonksiyonları incelemeleri, bazı kardiyak testleri de içeren çok detaylı bir muayeneden geçer. Gerekli durumlarda ek tetkikler ve konsũltasyonlar yapılır. Bu muayene tũm diğer ũlkelerde olduğu gibi belli standartlara gore yapılmaktadır. Bu standartlar kliniğimizce uzun çalışmalar sonucu hazırlanmıştır ve Tũrk Ulusal Kutup Araştırmaları Sağlık Standartları (TUKAS) olarak adlandırılmaktadır. TUKAS ile detaylı muayene ve laboratuvar testleri sonuçlarının yanı sıra kişisel bilgiler, ayrıntılı tıbbi özgeçmiş, aile sağlık bilgileri ve diş muayenesi bulguları da kayıt altına alınmaktadır. Katılımcıların hazırlığı kadar malzeme hazırlığı da önemlidir. Sefer sırasında ihtiyaç olabilecek ilaçların ve tıbbi malzemenin hazırlığı da sefer sorumluları ile birlikte yũrũtũlmektedir. Ayrıca kıtayı ilgilendiren gũncel sağlık sorunlarına karşı çalışmalar yapmak, protokoller geliştirmek ve önlemler olarak hazırlık yapmak da sefer gũvenliđi açısından son derece önemlidir. Örneğin COVID-19 pandemisi sırasında katılımcıların seyahat koşullarının belirlenmesi ya da şu anda kıtanın önemli sağlık sorunu olan İnfuenza A/H5N1 enfeksiyonu-Kuş Gribi- için sefer sırasında alınacak önlemlerin belirlenmesi bunlardan bazılarıdır.

Kutupla ilgili sağlık hizmetinin ikinci ayağı ise sahada medikal destektir. Olası acil durumlarda mũdahalede bulunmak, hastalıkların tedavisini başlatmak ũzere araştırma ekibine bir hekim eşlik etmektedir. Sefer doktorunun bir başka görevi de bilim kampında yıl boyunca orada kalmış olan ilaç ve ekipmanı her yıl gözden geçirmek, tarihi geçmiş, zarar grmũř olanlar varsa belirlemek ve bir sonraki sefer için raporlamaktır. Bu sayede bilim kampımızda malzeme devamlılığı sağlanmaktadır. Hepsinin yanında sefer doktoru da ekibin bir parçası olduğundan, araştırma ve çalışmalar sırasında ekibin diğer ũyelerine yardım etmekte ve kendi görevlerini aksatmayacak şekilde başka görevler de ũstlenmektedir. Seferler başladığından beri bu sahada tıbbı destek fakũltemiz tarafından verilmekte ve anabilim dalımızdan bir hekim sefere katılmaktadır.

Arktik seferlerinde ise durum biraz farklıdır. Arktik'te koşullar Antarktika kadar ekstrem değildir ve kapsamlı sağlık hizmetlerine ulaşmak daha kolaydır. Sefer süresi de genellikle daha kısadır. Bu nedenle sahada tıbbi destek için bir hekim katılmasına ihtiyaç daha azdır. Ancak sefere katılacak tüm görevliler yine kapsamlı bir sağlık kontrolünden geçmektedir. Bu kontroller yine TUKAS'a uygun şekilde yapılmaktadır.

Sağlık hizmetleri seferlerin başladığı zamandan beridir Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp bölümü tarafından yürütülmektedir. Bu bölüm tarafından üstlenilmesinin nedeni hekimlerin benzer ekstrem koşullar ile ilgili çalışmalarda tecrübeli olmasıdır. Örneğin, yine ekstrem koşullar olan sualtında ve yüksek basınç altında çalışacak dalgıçların sağlık muayeneleri, karadan uzak bölgelerde derin dalışlar sırasında verilen sağlık hizmetleri Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp hekimlerinin görev alanı içerisindedir. Ayrıca uzmanlık eğitimi sırasında doğal hayat tıbbi ya da olağan dışı koşullar tıbbi gibi konularda eğitim alınması da görevin içeriğine büyük katkı sağlamaktadır.

Sağlık açısından bir başka görev de bilimsel ve akademik aktivitelerdir. Yapılan çalışmalar ve toplanan veriler ile bildirimler yapılmış, projeler yapılmış ve makaleler üretilmiştir (4). Ayrıca eğitim kitapları ve çeşitli kaynaklar için tıbbi bilgilerin hazırlanması sağlık ekibinin sorumluluğunda gerçekleşmiştir (5). Son zamanlarda uluslararası kuruluşlar ve diğer ülkelerin medikal ekipleriyle ortak çalışmalar geliştirilmeye başlanmıştır.

5. SONUÇ

Kutuplar, küresel iklim sisteminin düzenleyicisi olmalarının yanı sıra, barındırdıkları zengin kaynaklar ve bozulmamış doğalarıyla bilimsel araştırmalar için eşsiz birer laboratuvardır. İklim değişikliğinin etkilerinin en belirgin hissedildiği bu bölgeler, insanlığın ortak mirası ve geleceği açısından kritik öneme sahiptir. Kutup araştırmaları, sadece bir bilimsel faaliyet değil, aynı zamanda küresel karar alma süreçlerinde söz sahibi olma vizyonudur. Türkiye, hem Arktik hem de Antarktika'daki faaliyetlerini genişleterek, iklim değişikliği ile mücadele ve küresel bilimsel birikime katkı sağlama konusundaki kararlılığını sürdürmektedir.

KAYNAKLAR

1. The Antarctic Treaty. *United Nations Treaty Series*. 1959;402:71-102.

2. Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty. *International Legal Materials*. 1991;30(6):1455-1486.
3. Treaty between Norway, the United States of America, Denmark, France, Italy, Japan, the Netherlands, Great Britain and Ireland and the Overseas Dominions of Great Britain and Sweden concerning Spitsbergen. *League of Nations Treaty Series*. 1920;2:7-19.
4. Aktaş Ş, Mirasoğlu B, Yumbul AS, Çotuk HB. Medical consultancy of the first Turkish Antarctic research expedition 2016. *J Ist Faculty Med*. 2017;79(4):153-156. doi:10.18017/iuitfd.308490
5. Özsoy B, ed. *Ulusal Kutup Seferleri Eğitim Kitabı*. Kocaeli: TÜBİTAK MAM; 2019.

HAVACILIK VE YÜKSEK İRTİFA FİZYOLOJİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman Engin DEMİR

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Savunma Sağlık Bilimleri Enstitüsü,

Hava ve Uzay Hekimliği AD.

1. GİRİŞ

Uçmak, insanoğlunun var olduğu ilk zamanlardan günümüze değin sürekli gerçekleştirmek istediği bir eylem olmuştur. Normalde insan fizyolojisine aykırı olan bu eylem, havacılığın ilk yıllarından itibaren çeşitli hava araçlarının üretilmesi ve geliştirilmesi sonucunda son yüzyılı aşkın bir süredir hayal olmaktan çıkmıştır. Fakat bu süreçte, uçuş ortamı ve yüksek irtifaya maruz kalmanın birtakım olumsuz etkileri beraberinde getirdiği fark edilmiştir. Bu etkilerden dolayı insan fizyolojisinde birtakım değişikliklerin meydana geldiği ve bu değişikliklerin uçuş güvenliğini tehlikeye sokarak kaza-kırımlara sebep olduğu görülmüştür (1). Teknolojik donanım ve kapasiteleri büyük gelişme gösteren hava araçlarının manevra ve operasyonel kabiliyetlerinin de artması, insan fizyolojisinin sınırlarını zorlar hâle gelmiştir. Yüksek irtifada parsiyel oksijen basıncının (PO_2) düşmesine bağlı **hipobarik hipoksi**, irtifa değişikliklerinin basınç- hacim ilişkisini etkilemesi nedeniyle ortaya çıkan **barotravmalar**, **dekompresyon hastalığı** ve hava aracı manevraları sonucu ortaya çıkan **akselerasyon kuvvetleri**, havacılık tıbbının ana konularındandır.

2. HIPOBARİK HIPOKSİ

Yeryüzünden yüksek irtifalara çıkıldığında hava basıncı, ortam havasındaki PO_2 ve parsiyel alveoler oksijen basıncı (PAO_2) düşmekte; bu durum **hipobarik hipoksi** gelişmesine yol açmaktadır (Tablo 1). Havacılıkta dakikalar ve hatta saniyeler içinde oluşabilen ve uçucunun bilişsel ve psikomotor işlevlerinde bozulmaya ve kişide tıbbi inkapasitasyona yol açabilen akut hipobarik hipoksi, uçuş emniyetini tehlikeye sokan önemli bir durumdur (2).

Oksijen desteği olmadan 10.000 feet ve üzeri irtifaya maruz kalmak, kişisel oksijen sistemleri tarafından yeterli basınç ya da konsantrasyonda oksijen sağlanamaması ve yüksek irtifada kabin basıncının kaybedilmesi durumları, havacılıkta karşılaşılan başlıca hipoksi sebepleridir.

Tablo 1. Çeşitli irtifa değerlerine göre hava basıncı, PO₂ ve PAO₂ değerleri (PO₂: Parsiyel oksijen basıncı, PAO₂: Parsiyel alveoler oksijen basıncı, ft: feet) (3,4)

İrtifa (ft)	Barometrik basınç (mmHg)	PO ₂ (mmHg)	PAO ₂ (mmHg)
0	760	159,1	103
5.000	632	132,5	81
10.000	523	109,5	61,2
15.000	429	89,8	45
20.000	349	73,2	34,3
25.000	282	59,1	30,4
30.000	226	47	18
40.000	141	29	-
50.000	87	18	-

2.1 Bulgular

Hipoksi bulguları, objektif ve subjektif olarak sınıflandırılır. Hiperventilasyon, siyanoz, muhakeme zayıflığı, kas koordinasyon bozukluğu ve şuur kaybı **objektif bulgular** olup, hipoksinin şiddet ve süresine göre her insanda fizyolojik birer yanıt olarak ortaya çıkmaktadır. Baş ağrısı, uyuşma, bulantı, karıncalanma, sıcak-soğuk basması, baş dönmesi, terleme, uğultu, yorgunluk, huzursuzluk, öfori, hava açlığı, görme bozukluğu, titreme, yargı zayıflaması ve benzeri bulgular ise **subjektif bulgular** olup bunların ortaya çıkıp çıkmaması, ortaya çıkış sırası ve ne kadar sürdüğü kişiden kişiye farklılık göstermektedir (5).

2.2 Faydalanılabilir bilinç zamanı (FBZ)

Oksijen ikmalinin kesildiği andan belli bir derece performans kaybı yaşanan ana kadar geçen zaman birimidir (4). Bu performans kaybı anı, laboratuvar şartlarında kompleks psikomotor testleri yapamama durumundan basit komutlara cevap verememe şeklinde değerlendirilebileceği gibi pratikte en çok kabul edilen şekli kişinin kendini kurtarabileceği son ana kadar geçen süredir (Tablo 2).

Tablo 2. İrtifa seviyelerine göre Faydalanılabilir Bilinç Zamanı (FBZ) değerleri (ft:feet) (4)

İrtifa değeri (ft)	Faydalanılabilir Bilinç Zamanı (FBZ)
43.000	9 – 12 sn
40.000	15 – 20 sn
35.000	30 – 60 sn
30.000	1 – 2 dk
28.000	2,5 – 3 dk
26.000	3 – 5 dk
22.000	10 – 15 dk
18.000	20 – 30 dk

2.3 Tedavi ve Korunma

Uçuş esnasında ortaya çıkabilecek hipoksi durumunda uçucunun öncelikle oksijen teçhizatını, maskenin yüze tam oturup oturmadığını, regülatör, hortum ve valflerde bir arıza vb. olup olmadığını kontrol etmesi gerekmektedir. Acilen oksijen %100 konuma getirilmeli; semptomlar düzeline kadar, 5 saniyede 1 soluk (12-16/dakika) alıp verecek şekilde solunum düzeni ve derinliği korunmalıdır. Ayrıca mümkünse 10.000 feet altına hızlı bir alçalış yapılması gerekmektedir. Ticari uçaklarda kokpit ekibi için oksijen kaynağı silindir oksijen tanklarında sıvı oksijen tipinde depolanmış halde taşınır. Acil iniş ve ilk yardım gereken durumlarda en az 2 saat süre yetecek kadar oksijen sağlamaktadır. Maskeler yüze tam oturan tipte olup en fazla 5 saniye içinde takılabilecek şekilde yerleştirilmiştir. Yolcuların ise soluduğu oksijen, koltuklarının üst kısımlarında bulunan kimyasal oksijen jeneratörü içinde bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Bu reaksiyon başladığında kimyasal maddeler tükeninceye kadar devam eder, maskeden devamlı oksijen akışı olur. Bu süre ortalama 12 dakikadır (6,7).

2.4 Hipoksi farkındalık eğitimleri

Uçucuların hipoksi bulgularını deneyimlemeleri ve hipoksiye karşı yapılması gerekenleri öğrenmeleri amacıyla yer seviyesinde hipoksi eğitimleri yapılabilmektedir. **Alçak basınç odası** ile cihaz içindeki hava vakumlanıp dışarı tahliye edilerek, **normobarik hipoksi eğitim sistemi** (Şekil 1) ile nitrojen ve oksijen belli oranlarda karıştırılıp maske yardımıyla solutularak istenen irtifa seviyelerine eşdeğer hipoksi seviyesi yaratılabilmektedir (8).



Şekil 1. Normobarik Hipoksi Eğitim Sistemi

3. HAVACILIKTA BAROTRAVMALAR

Yüksek irtifaya çıkıldıkça atmosfer basıncı azalırken kapalı bir boşluktaki gazların hacminde artış olur, deniz seviyesine inerken ise basınç artışıyla gazların hacmi azalır. Basınç dengesi sağlanamazsa birtakım problemlerle karşılaşılır.

Vücudumuzda orta kulak boşluğu, paranasal sinüsler (frontal, maksiller, sfenoid, etmoidal), mide-bağırsak sistemi, akciğerler, hava kisti, bül, bleb gibi doğal ya da patolojik kapalı gaz boşlukları bulunmaktadır; dış ortamda basınç değişikliği olduğunda bu boşluklarda da basınç veya hacim değişiklikleri olmaktadır. Bu sayılan nedenlerle ortaya çıkan atmosferik basınç değişimlerinde, **Boyle gaz kanunu** ile açıklanan ve içerisinde hapsolmuş gaz bulunan dokularda gazın hacminin değişmesi sonucu hasar oluşmasına **barotravma** denilmektedir.

3.1 Orta Kulak Barotravması

Orta kulak ile nazofarinks arasındaki basınç dengesi östaki tüpü ile sağlanır. Tırmanışta hava pasif olarak nazofarinkse geçebilirken, alçalma sırasında negatif basınç oluşur ve denge sağlanamazsa kulak zarında hasar, sıvı birikimi ve işitme kaybı gelişebilir (9).

3.2 Dış Kulak Barotravması

Hava geçirgen olmayan kulak tıkaçları veya dış kulak yolu tıkanıklıkları, dış ortamla bağlantısı olmayan bir hava boşluğu oluşturur. Basınç değişikliklerinde bu boşluk genişerek kulak zarına ve dış kulak yoluna zarar verebilir. Önlem olarak uçuş öncesi kulak muayenesi ve uygun (hava geçirgen) tıkaç kullanımı önerilir (9).

3.3 Sinüs Barotravması (Barosinüzit)

Sinüs ostiumlarının tıkanması durumunda basınç dengesi sağlanamaz ve mukozal hasar gelişir. Özellikle dalışta ağrı, kanama ve sekresyon artışı görülür. Üst solunum yolları enfeksiyonu veya sinüzit varlığında uçuş/dalıştan kaçınılmalıdır (9).

3.4 Gastrointestinal Sistem Barotravması

İrtifa arttıkça gastrointestinal sistemdeki gazlar genişler ve bu durum, batında distansiyon ve ağrıya neden olabilir. Gaz çıkışı engellenirse solunum sıkıntısı ve hatta senkop gelişebilir. Önlem olarak gaz yapıcı gıdalardan kaçınılmalı ve gazın dışarı tahliyesi sağlanmalıdır (6).

3.5 Pulmoner Barotravma

Ani basınç düşüşlerinde akciğerlerdeki hava genişler ve çıkışı engellenirse alveol rüptürü gelişebilir. Bu durum pnömotoraks, pnömomediastinum veya hava embolisine yol açabilir. Acil iniş gerektirir (10).

3.6 Barodentalji

Basınç değişiklikleri sırasında diş içindeki hapsolmuş gazların genişmesi ağrıya neden olur. Genellikle çürük, dolgu veya apse varlığında ortaya çıkar. Önlemek için uçuş öncesi ağız ve diş sağlığının kontrol edilmesi gerekir (11).

4. HAVACILIKTA DEKOMPRESYON HASTALIĞI

Dekompresyon Hastalığı (DKH), dış basıncın düşmesine bağlı vücut dokuları ve vasküler alanlarda azot gazı kabarcıklarının oluşmasına bağlı gelişen bir hastalıktır. Hastalığın klinik bulguları ilk defa 1850'li yıllarda dalgıçlar ve maden işçilerinde tanımlanmıştır (12).

Havacılıkta ilk klinik vakalar 1. Dünya Savaşı sırasında bildirilmiştir. Günümüzde uçuş sırasında ve alçak basınç odasında hipoksi eğitiminde ortaya çıkmaktadır. Genel olarak hastalığın meydana geldiği eşik irtifa 18.000 feet olarak kabul edilir. Aseptomatik bireylerde

egzersiz sonrası 10.250 feet irtifada venöz kabarcıklar tespit edilmiş, 15.000 feet irtifada eklem ağrıları görülmüştür (10).

Oluşan kabarcıklar mekanik olarak tıkanıklığa yol açabileceği gibi yabancı cisim olarak algılanıp bir dizi reaksiyonun başlamasına sebep olabilmektedir. Doku içinde komşu yapıları sıkıştırabilmekte, sinir uçlarına bası yaparak ağrıya neden olabilmekte, basınç daha da artarsa doku hasarı ve doku travması gelişebilmektedir. Damarlarda mekanik obstrüksiyon sonucu nörolojik, pulmoner ve kardiyovasküler etkiler meydana gelmektedir. Kabarcıklar yabancı cisim gibi algılanmakta, eritrosit ve plateletler kabarcık yüzeyine tutunmaya çalışmaktadır (12).

4.1 DKH Klinik

Klinik manifestasyonlar aşağıda sıralanmıştır.

Bends: Havacılıkta en sık görülen klinik tablodur. Eklemlerde ağrı olarak oraya çıkar. Azalan sırayla; en sık diz, omuz, dirsek, el bileği/el, ayak bileği/ayak ve kalça eklemi tutar. Eklemi hareket ettirmek ve ovma ağrıyı arttırırken, sıkı bandaj ve pnömatik manşon uygulamak gibi lokal basıncı arttırıcı yöntemler ağrıyı hafifletir. Genelde irtifa kaybedildiğinde ağrı hafifler (10).

Chokes: Nitrojen kabarcıklarının pulmoner arteriyol ve kapillerlerde tıkanıklığa yol açması ve bu nedenle pulmoner dokunun irritasyonu sonucu ortaya çıkar. Akciğerlerde gaz değişimi bozulur. Genelde ilk semptom alt göğüs bölgesinde sıkışma ve epigastrium üzerinde tıkanma hissidir (10).

Creeps: Deri altındaki erimiş halde bulunan küçük gaz kabarcıklarının deri altı sinir alıcılarını uyarması ve bu uyarıların da beyinde değişik hisler olarak yorumlanması sonucu meydana gelir. En sık kaşıntı ve karıncalanma hissi meydana gelir. Bazı vakalarda oluşan benekli, siyanotik mermers görünüme **cutis marmorata** adı verilir (12).

Staggers: Havacılıkta nadiren görülür. Havacılar da en sık beyin, dalgıçlarda spinal kord tutulumu olur. Paralizi, parestezi, anestezi ve konvulziyonlar en sık semptomlardır (10).

Havacılıkta DKH riskini arttıran durumlar aşağıda sıralanmıştır (13-15);

- İrtifa seviyesi arttıkça DKH riski artar.
- İrtifada kalış süresi arttıkça DKH riski artar.
- İrtifaya çıkış hızının yüksek olması DKH riskini arttırır.
- İrtifada fiziksel aktivite DKH riskini arttırır.
- Soğuk maruziyeti DKH riskini arttırır.

- Vücut yağ oranının yüksek olması DKH riskini artırır.
- Kadın cinsiyet DKH riskini artırır.
- **Denitrojenizasyon** (Yüksek irtifaya maruziyet -uçuş, alçak basınç odası eğitimi, uzay yürüyüşü vb.- öncesi belli bir süre %100 O₂ solumak suretiyle vücuttaki nitrojenin mümkün olduğunca uzaklaştırılması) uygulaması DKH riskini azaltır.
- Yüksek irtifada egzersiz yapmak DKH riskini artırır.
- Uçuş öncesi dalış yapmak ve bu dalış sonrası geçmesi gereken süre dolmadan uçuş yapmak DKH riskini artırır.
- Yüksek irtifada dalış yapmak DKH riskini artırır.

4.2 DKH Tedavisi

Hastanın kliniği özel bir durumu (aspirasyon riski gibi) gerektirmedikçe hastayı supin pozisyonuna almak en uygundur. Hastalığın tanısı konduğu anda tercihen yüze tam oturan pilot maskeleri ile %100 oksijen verilmelidir. Sıvı replasmanında tercihen Ringer Laktat veya Serum Fizyolojik gibi izotonik sıvılar verilmelidir. Hipotermi ve hipertermi hastalığı şiddetlendireceği için sıcaklık kontrolü yapılmalıdır. Transferler sırasında da tercihen yüze tam oturan maske ile %100 oksijen verilmelidir. Hastalar mümkünse en yakın hiperbarik oksijen tedavisi (HBOT) merkezinde tedavi edilmelidir. Dekompresyon hastalığının tek kesin tedavi yöntemi HBOT'dir (16).

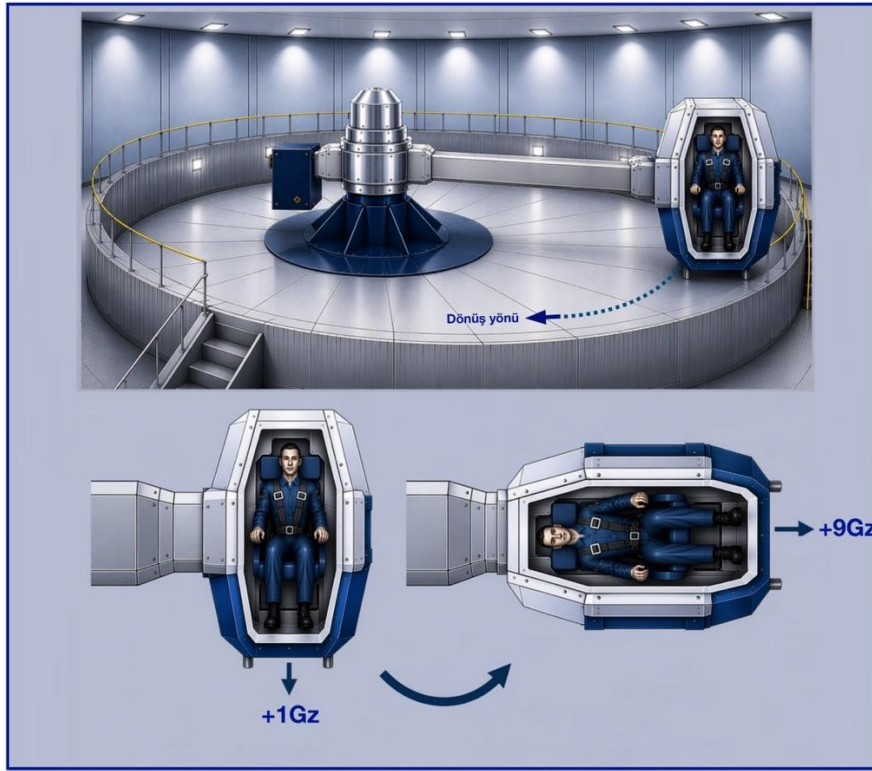
5. HAVACILIKTA AKSELERASYON KUVVETLERİ

Hava aracının yaptığı doğrusal, dairesel ve açısız ivmeli hareketler esnasında meydana gelen kuvvetlere akselerasyon (G) kuvvetleri denir. İnsan fizyolojisi dünya üzerinde ortalama 1G (9,8 m/s²)'lik bir yerçekimi kuvveti altında yaşamaya uyum sağlamıştır. Uçuş sırasında ise, hava aracının hareketine ve hızına bağlı çeşitli yönlerde 1 G'nin üzerinde G kuvvetlerine maruz kalabilmektedir. Uçağın yaptığı dairesel hareket sonucunda baş ve gövdenin üst kısmından alt ekstremitelere doğru oluşan kuvvete +Gz kuvveti denmektedir ve bu, pilotların uçuş sırasında en sık maruz kaldıkları ve fizyolojik olarak en sık etkilendikleri G kuvvetidir.

+Gz kuvvetinin şiddeti arttıkça, pilotun koltuğa ve kokpit zeminine uyguladığı kuvvet artmakta, bu artış birtakım vücut fonksiyonlarını (kas-iskelet sistemi, kardiyovasküler sistem, solunum sistemi, serebral dolaşım vb.) olumsuz yönde etkilemektedir (17). +Gz kuvvetinin en önemli etkileri dolaşım sisteminde karşımıza çıkmaktadır. +1 Gz'nin üzerinde akselerasyon kuvveti sırasında kan alt ekstremitelerde göllenmekte, buna bağlı serebral kan akımının ani ve

kritik düzeyde azalması sonucu pilota bilinç kaybına varan durumlar meydana gelebilmekte, bu da uçuş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır (18).

Yüksek performanslı uçakları kullanan pilotlar, G kuvvetlerini yeryüzünde deneyimleyebilmek ve yüksek G kuvvetlerine karşı koyarak bilinç kaybını engellemek amacıyla İnsan Santrifüjü Eğitimi'ne tabi tutulmaktadır (Şekil 2). Bu eğitimde, insan santrifüj cihazının yarattığı yüksek şiddette merkezkaç kuvvetinin etkisiyle vücuda 1 +Gz'nin çok üzerinde bir kuvvet (maksimum +9 Gz) uygulanabilmekte ve böylece bu yüksek G kuvvetinin etkileri yer seviyesinde güvenli şartlarda simüle edilebilmektedir. Ayrıca yüksek +Gz kuvvetine maruz kalmanın doğuracağı riskleri minimuma indirmek ve olası yaralanmaları engellemek amacıyla yapılması gerekenler pilotlara öğretilmektedir (19).



Şekil 2. İnsan santrifüjü cihazı

KAYNAKLAR

1. Island RT, Fraley EV. Analysis of USAF hypoxia incidents January 1976 through March 1990. In: Proceedings of the 31st Annual SAFE Symposium. Creswell, OR: SAFE Association; 1993. Shao BS, Guindani M, Boyd DD. Fatal accident rates for instrument-rated private pilots. Aviat Space Environ Med. 2014 Jun;85(6):631-7. doi: 10.3357/ase.3863.2014

2. Malle C, Quinette P, Laisney M, Boissin J, Desgranges B, Eustache F, et al. Working memory impairment in pilots exposed to acute hypobaric hypoxia. *Aviation, space, and environmental medicine*, 84(8). 2013. 773-779.
3. Hall JE, Hall ME. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 14th Ed. Philadelphia: Elsevier; 2021. p. 553-60.
4. Stepanek J, Connolly DM, Pollock NW. Atmosphere, Hypoxia and Decompression Stress. Davis JR, Stepanek J, Fogarty JA, Blue RS, editors. *Fundamentals of Aerospace Medicine*, 5th Edition, Philadelphia, Wolters Kluwer, 2022, p. 706-812.
5. Smith AM. Hypoxia symptoms in military aircrew: long-term recall vs. acute experience in training. *Aviat Space Environ Med* 2008;79:54-7.
6. Gradwell DP, Macmillan AJF. Oxygen systems, pressure cabin and clothing. In: Gradwell DP, Rainford Dj, eds. *Ernsting's Aviation Medicine*. 5th ed. New York: Taylor & Francis Group, LLC; 2016. p.79-129
7. Federal Aviation Administration (FAA). *Oxygen Equipment: Use in General Aviation Operations*. Oklahoma City (OK): Civil Aerospace Medical Institute; 2021. https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/oxygen_equipment.pdf
8. Self DA, Mandella JG, Prinzo OV, Forster EM, Shaffstall RM. Physiological equivalence of normobaric and hypobaric exposures of humans to 25,000 feet (7620 m). *Aviat Space Environ Med* 2011; 82:97 – 103
9. Caldera S. Otorhinolaryngology. In: Gradwell DP, Rainford Dj, eds. *Ernsting's Aviation Medicine*. 5th ed. New York: Taylor & Francis Group, LLC; 2016. p.527-533
10. Risdall JE. Decompression illness. In: Gradwell DP, Rainford Dj, eds. *Ernsting's Aviation Medicine*. 5th ed. New York: Taylor & Francis Group, LLC; 2016. p.567-577
11. Ashish T, Agrawal PK, Tanaya. "The Flying Tooth"- A Detailed Review of Aviation Dentistry. *MAR Dental Sciences*, 5 (5), 2022.
12. Jain KK. Decompression sickness, chapter 11; In: Jain KK, editor. *Textbook of hyperbaric medicine*, 6th ed. Cham, Switzerland: Springer 2017: 101-120
13. Conkin J, Sanders RW, Koslovsky MD, Wear ML, Kozminski AG, Abercromby AFJ. A systematic review and meta-analysis of decompression sickness in altitude physiological training. *Aerosp Med Hum Perform*. 2018 Nov 1; 89(11):941-951

14. Pilmanis AA, Olson RM, Fischer MD, Wiegman JF, Webb JT. Exercise-induced altitude decompression sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1999 Jan; 70(1):22-29
15. Ryles MT, Pilmanis AA. The initial signs and symptoms of altitude decompression sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1996 Oct; 67(10): 983-989
16. Kirby JP, Snyder J, Schuerer DJE, Peters JS, Bochicchio GV. Essentials of hyperbaric oxygen therapy: 2019 Review. *Mo Med.* 2019;116:176–9
17. Slungaard E, McLeod J, Green NDC, Kiran A, Newham DJ, Harridge SDR. Incidence of G- Induced Loss of Consciousness and Almost Loss of Consciousness in the Royal Air Force. *Aerosp Med Hum Perform.* 2017 Jun 1;88(6):550-555. doi: 10.3357/AMHP.4752.2017
18. Banks RD, Sommers jT, Chelette Tl, Wood Rl, Watson RA. Human response to acceleration. in: Davis jR, Stepanek j, Fogarty jA, Blue RS, eds. *Fundamentals of Aerospace Medicine.* 5th ed. Philadelphia: Walters Kluwer; 2022. p.1252-347
19. Green NDC. Long duration acceleration. in: Gradwell DP, Rainford Dj, eds. *Ernsting's Aviation Medicine.* 5th ed. New York: Taylor & Francis Group, LLC; 2016. p.131-56

ZAMAN VE İRTİFA ARASINDA: HAVADAN TIBBİ TAHLİYE

Doç. Dr. Onur TEZEL

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Acil Tıp AD.

1. GİRİŞ

Havadan hasta ve yaralı tahliyesi (HHYT), genel olarak hasta ve yaralıların bir hava aracı ve uzman personel ile taşınması olarak tanımlanabilir.

Doktorlar, acil tıp teknisyenleri (ATT) ve hemşireler, ağır yaralı veya hasta hastaları uçak veya helikopterlerle bir hastaneden, savaş bölgesinden veya afet bölgesinden kesin tedavi için hastanelere veya üçüncü basamak bakım merkezlerine taşıyabilirler (1). Tüm uzmanlık dallarındaki hekimler, hastaları hava ambulansı hizmetleri aracılığıyla taşımaya karar verebilirler. Buna rağmen, hava ambulansı taşımacılığına hazırlık ve uçuş sırasında beklenen hasta bakımı için standart bakım kurallarını belirleyen uluslararası bir kılavuz bulunmamaktadır. Kritik durumdaki hastaların uygun hava yoluyla taşınması, hava aracı ortamında deniz seviyesinden çeşitli yükseklikteki irtifalarda meydana gelen fizyolojik değişikliklerin anlaşılmasını gerektirir (2).

2. TARİHÇE

Hava ambulans taşımacılığının kökenleri, 1782'de sıcak hava balonunun mucitleri olarak bilinen Montgolfier kardeşlere kadar uzanmaktadır. 1917'de, Fransız uçağı Dorand AR II, hasta taşıyan ilk hava ambulansı oldu. Modern dönem HHYT, II. Dünya Savaşı sırasında başladı ve sadece Amerika Birleşik Devletleri tarafından bir milyondan fazla hasta taşındı; ölüm oranı 100.000'de 4'tü (3). 1950 yılından itibaren, Kore Savaşı sırasında, Kore'deki engebeli arazi ve asfaltlanmamış yollar nedeniyle tıbbi nakliye için uzak yerlere erişim sağlamak amacıyla döner kanatlı hava araçları geliştirildi (4). 1965 ile 1972 yılları arasında, hava ambulans helikopterleri Vietnam'da yaklaşık bir milyon sivil ve yaralı askeri kurtardı (5). Ancak Vietnam Savaşı'ndan sonra, HHYT kavramı artık askeri görevlerle sınırlı kalmadı, aynı zamanda sivil sektörü de kapsadı. Ülkemizde ilk olarak 1996 yılında Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nın modernizasyon programı çerçevesinde 1 adet CN-235 uçağı bir hastanenin acil servis ve yoğun bakım ünitesindeki tüm tıbbi imkanlara sahip olacak şekilde Kayseri 2nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı tarafından düzenlenerek kullanıma başlanmıştır. 2000 yılında, artan ihtiyacı karşılayabilmek için aynı

donanıma sahip ikinci CN-235 ambulans uçağı yine Kayseri 2nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı tarafından yapılan düzenleme ile Hava Kuvvetleri envanterine girmiştir.

3. UÇAKTA BULUNAN TIBBİ PERSONEL VE EKİPMAN

Şu anda, HHYT için Federal veya Uluslararası standartlaştırılmış bir kılavuz bulunmamaktadır. Uçuşta görevli bir nakil hekiminin sahip olması gereken nitelikleri belirten standart bir kılavuz da yoktur. Her ülke, her organizasyon kendi standartlarını belirlemiştir.

Uçuş ekibi pilotun yanı sıra, bir hekim, hemşire, solunum terapisti ve/veya ATT'den oluşan bir kombinasyon içerebilir. Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri, travmatik yaralanmalar geçiren askerler için kendi kritik bakım hava nakil ekibini (CCATT) tasarlamıştır. CCATT ekibi bir kritik bakım doktoru, kritik bakım hemşiresi ve solunum terapisti içerir (2).

Genellikle, sivil hava taşımacılığında, kritik durumdaki hastalara bir hekim, hemşire ve ATT eşlik eder. Hekim, ciddi hastalık, uçuş sırasında olası hasta kötüleşmesi ve uçuş sırasındaki diğer olumsuzluklarla başa çıkmak için eğitilmiş olmalıdır (6).

Hava araçlarındaki tıbbi ekipman, her bir hastanın bireysel ihtiyaçlarına göre uyarlanmalıdır; çünkü uçakta hangi ekipmanın bulunması gerektiğine dair tanımlanmış bir standart yoktur. Beklenmedik hava değişiklikleri, gecikmeler veya hastanın durumunun aniden kötüleşmesi tıbbi malzemelerin tükenmesine sebep olabilir. Bu yüzden uçuş ekibi, olağanüstü koşullara hazırlıklı olmalı ve özellikle kritik durumdaki hasta ve/veya yaralı hastaları taşırken yedek güç kaynakları, oksijen tüpleri, monitörler ve özellikle duruma özgü tıbbi ekipman bulundurulmalıdır (7).

4. UÇAK ORTAMI

Çoğu sivil ticari uçuş 25.000 ile 45.000 ft arasında irtifalarda seyrederek [8]. Normal koşullar altında, insanlar ek oksijen tedavisi olmadan 10.000 ft'e kadar irtifalarda uçmaya dayanabilirler.

Havacılık fizyolojisinin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için, tüm sivil uçuşlar kabin irtifasına göre belirlenen standartlaştırılmış basınçlandırmaya tabidir. Bu, uçuşlar sırasında normal

oksijen kısmi basıncını (PO_2) ve arteriyel oksijen kısmi basıncını (PaO_2) korumaya yardımcı olur (8,9).

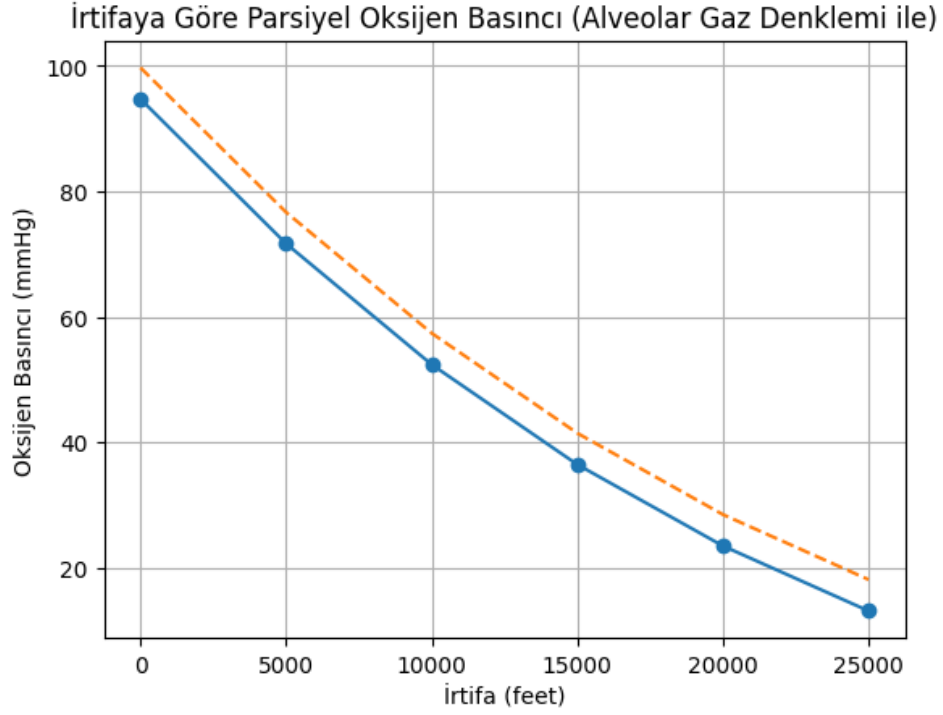
Kabin irtifası, yolcuların maruz kaldığı etkili irtifayı, dolayısıyla basıncı belirler ve böylece basınç dalgalanmalarını sınırlar. Örneğin, bir uçak deniz seviyesinden 50.000 ft yükseklikte uçuyorsa, kabin içindeki basınç deniz seviyesinden 6.000 ile 8.000 ft arasında tutulur.

Federal Havacılık İdaresi (FAA), tüm sivil uçuşların (sabit kanatlı) maksimum işletme yüksekliğinde kabin yüksekliğinin 8.000 ft'ten fazla olmamasını şart koşmaktadır. Bu nedenle, kabin yüksekliği deniz seviyesine kadar basınçlandırılmak yerine, deniz seviyesinden 6.000 ile 8.000 ft arasında tutulur.

Uçak ortamından kaynaklanan fiziksel stres faktörleri sadece hastayı değil, aynı zamanda sağlık personelinin ve ekipmanını da etkileyecektir. Klasik uçuş stres faktörleri arasında yerçekimi kuvveti ve yükseklik, sıcaklık, nem, ivme, gürültü ve titreşim değişiklikleri yer alır. Gürültü ve titreşim hariç bu fiziksel stres faktörleri, sabit kanatlı taşıma araçlarında daha fazladır; çünkü bu araçlar daha yüksek bir irtifada uçurulmaktadır (3).

5. UÇUŞUN FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Fiziksel gaz kanunlarının, uçak ortamının ve fiziksel stres faktörlerinin fizyolojik etkileri, hastalar ve uçuş ekibi için farklı bir klinik tablo çıkarır. Hava ve yer ortamı arasındaki temel fizyolojik fark irtifadır. Uçak yükseldikçe, atmosferik barometrik basınç, onu oluşturan gazların kısmi basıncındaki azalma nedeniyle düşer; bu gazlar arasında PO_2 de bulunur (10). İrtifa ve parsiyel oksijen basıncı arasındaki ters ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İrtifaya bağlı alveoler ve arteriyel oksijen parsiyel basıncındaki azalma

Hipoksemi, atmosfer basıncındaki azalma olan hipobarik hipoksi nedeniyle HHYT sırasında karşılaşılan en büyük tehdittir (11). 8.000 ft yükseklikte atmosfer basıncı 565 mmHg'dir ve bu da 53-64 mmHg'lik bir PAO_2 'ye (normalde 99,7 mmHg) ve %85 ile %91 arasında oksijen doygunluğuna (SpO_2) karşılık gelir (12). Sağlıklı kişilerde bu, herhangi bir önemli semptomu yol açmaz. Bununla birlikte, temel (deniz seviyesindeki) PaO_2 değerlerini etkileyen altta yatan tıbbi rahatsızlıkları olan hastalarda, yüksekliğe bağlı PaO_2 azalması tehlikeli olabilir (11). Hipoksi, pulseoksimetre ile kolayca tanımlanabilir ve ek oksijen tedavisi ile düzeltilebilir (13).

Boyle'un tanımladığı gaz kanunu, insan vücudunda olduğu gibi sıcaklık sabit kaldığında, bir gaz hacminin basıncıyla ters orantılı olduğunu belirtir:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Bu kanuna göre basınç düştükçe, gaz dolu vücut boşluklarının ve tıbbi cihazların, endotrakeal tüpler (ETT) manşonları, intravenöz (IV) sıvı torbaları vb. gibi yapılarda gaz genişmesi gerçekleşeceği öngörülür (8). Uçak yolculukları sırasında gaz, deniz seviyesindeki

temel değerinden %35'e kadar genleşebilir. Gaz genleşmesinin uçuş sırasında fark edilebilmesi hipoksiye göre daha zordur. Sağlık çalışanlarının tüm taşıma boyunca bu gaz kanunu akılda tutmaları zorunludur (1). Gaz genleşmesi, uçuş sırasında klinik olarak barotravma şeklinde açığa çıkabilir: aerotit, aerosinüzit, aerodontalji ve özellikle HHYT sırasında karın barotravması ve pnömotoraks (3).

Tıbbi ekipman da gaz genişlemesinden ve uçak ortamından kaynaklanan fiziksel stres faktörleriyle ilgili diğer olaylardan etkilenir. Barometrik basınçtaki değişiklikler ve buna bağlı olarak gaz hacmindeki değişiklikler, özellikle kan basıncı manşetlerinde, IV sıvı torbalarında ve ETT manşetlerinde özel bir öneme sahiptir (3). Bu sebeple sadece hastada değil, aynı zamanda tıbbi uçuş ekibinde ve tıbbi cihazlarda meydana gelen fizyolojik değişiklikler dikkate alınarak, taşıma için uygun hazırlık yapılmalıdır.

6. ENDİKASYONLAR

Ulusal Acil Tıp Hekimleri Birliği (NAEMSP), Amerikan Acil Tıp Hekimleri Koleji (ACEP), Hava Ambulans Hekimleri Derneği (AMPA) dahil olmak üzere çeşitli kuruluşlar, HHYT ilişkin endikasyon önerileri sunmuşlardır (14). Bu konuda da standart bir karar bulunmamaktadır. Genel olarak temel yaklaşım dört unsuru içermelidir:

- Tedavinin yerel imkanlarla sürdürülememesi,
- Hayatiyetinin tıbbi tahliyeye bağlı olması,
- Süre/klinik durum nedenleriyle diğer yollarla tahliye edilememesi,
- Hasta/yaralının durumunun havadan nakil için uygun olması.

7. KONTRAENDİKASYONLAR

Hava yoluyla hasta tahliyesi için uçuş güvenliğini tehlikeye sokan durumlar dışında mutlak kontrendikasyon yoktur. Her vaka kendi dinamikleri içinde değerlendirilmeli kar-zarar oranına göre karar verilmelidir (15).

Rölatif kontrendikasyonlar genellikle, sabit kanatlı taşımalarda korunan daha yüksek irtifa değişikliklerinden olumsuz etkilenebilecek tıbbi durumları olan hastalardır. Bunlar arasında

hemorajik serebrovasküler olay (SVA), pnömosefali, barotravma, pnömotoraks, pnömoperiton ve yedi günlük zaman dilimi içinde herhangi bir türde yakın zamanda geçirilmiş ameliyat yer almaktadır (1,16). Ameliyat sonrası hastanın uçakla nakli ile ilgili optimal ameliyat sonrası bekleme süresi için yazılı bir düzenleme bulunmadığından, sevk talep eden ve uçuş ekibi tarafından ortaklaşa alınacak bir karar olmalıdır.

8. SONUÇ

HHYT sistemleri, kritik hastaların yaşam şansını artıran, hızlı ve etkin transferi sağlarken, yüksek irtifa fizyolojisinin getirdiği potansiyel komplikasyonların titizlikle değerlendirilmesini gerektiren ve bu yönüyle modern tıbbın vazgeçilmez yapı taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Teichman PG, Donchin Y, Kot RJ: International aeromedical evacuation. N Engl J Med. 2007, 356:262-270. 10.1056/NEJMra063651
2. Beninati W, Grissom TE: Critical Care Air Transport: Patient Flight Physiology and Organizational Considerations. Aeromedical Evacuation: Management of Acute and Stabilized Patients. Hurd WW, Beninati W (eds): Springer International Publishing, Cham; 2019. 127-144. 10.1007/978-3-030-15903-0_9
3. Fromm RE, Jr., Varon J: Air medical transport. The Journal of family practice. 1993, 36:313-318.
4. Olson CM, Jr., Bailey J, Mabry R, Rush S, Morrison JJ, Kuncir EJ: Forward aeromedical evacuation: a brief history, lessons learned from the Global War on Terror, and the way forward for US policy. The journal of trauma and acute care surgery. 2013, 75:S130-136. 10.1097/TA.0b013e318299d189
5. Flarity KM, Averett-Brauer TA, Hatzfeld JJ: Aeromedical Evacuation: A Historical Perspective. Aeromedical Evacuation: Management of Acute and Stabilized Patients. Hurd WW, Beninati W (eds): Springer International Publishing, Cham; 2019. 5-20. 10.1007/978-3-030-15903-0_2

6. Beninati W, Polk JD, Fallon WF: Civilian Air Medical Transport. *Aeromedical Evacuation: Management of Acute and Stabilized Patients*. Hurd WW, Beninati W (eds): Springer International Publishing, Cham; 2019. 41-58. 10.1007/978-3-030-15903-0_4
7. Kashani KB, Farmer JC: The support of severe respiratory failure beyond the hospital and during transportation. *Current opinion in critical care*. 2006, 12:43-49. 10.1097/01.ccx.0000198057.35212.3e
8. Mohr LC: Hypoxia during air travel in adults with pulmonary disease. *The American journal of the medical sciences*. 2008, 335:71-79. 10.1097/MAJ.0b013e31815f1e35
9. Shesser R: Medical aspects of commercial air travel. *The American journal of emergency medicine*. 1989, 7:216-226. 10.1016/0735-6757(89)90142-3
10. Medical Guidelines for Airline Travel, 2nd ed. *Aviat Space Environ Med*. 2003, 74:A1-19.
11. Coker RK BD, Buchdahl R: Managing passengers with respiratory disease planning air travel: British Thoracic Society recommendations. *Thorax*. 2002, 57:289-304. 10.1136/thorax.57.4.289
12. Tzani P, Pisi G, Aiello M, Olivieri D, Chetta A: Flying with respiratory disease. *Respiration; international review of thoracic diseases*. 2010, 80:161-170. 10.1159/000313425
13. Bianchi Smith S, Zecca A, Leston G, Marshall WJ, Dries DJ: Introduction of pulse oximetry in the air medical setting. *Journal of Air Medical Transport*. 1991, 10:11-14. [https://doi.org/10.1016/S1046-9095\(05\)80503-3](https://doi.org/10.1016/S1046-9095(05)80503-3)
14. Lyng JW, Braithwaite S, Abraham H, et al.: Appropriate Air Medical Services Utilization and Recommendations for Integration of Air Medical Services Resources into the EMS System of Care: A Joint Position Statement and Resource Document of NAEMSP, ACEP, and AMPA. *Prehospital emergency care*. 2021, 25:854-873. 10.1080/10903127.2021.1967534
15. Dr. Yi-Chang Wu MD, Ph.D.: *Worldwide Aeromedical Evacuation*. 1999.
16. Parsons CJ, Bobechko WP: Aeromedical transport: its hidden problems. *Canadian Medical Association journal*. 1982, 126:237-243.

DÜNYADAN ULUSLARARASI UZAY İSTASYONUNA: YILDIZLARA GİDEN YOLUN TIBBİ HARİTASI

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Hakan GÜNDÜZ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Savunma Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Hava ve Uzay Hekimliği AD.

1. GİRİŞ

Aerodinamik kanunlarına göre insan vücudu uçmaya uygun değildir. İnsanda ne kuşlar gibi içleri hava dolu kemikler ne vücudu yerçekimine karşı kaldırabilecek kuvvette kanatlar ne de uçaklar gibi uçmayı sağlayan, hava türbinlerini yaratmak için gerekli hız bulunur. İşte tüm bu nedenlerden dolayı insanın uçabilmesi mevcut doğa yasaları içinde olanaksızdır. İnsanoğlunun binlerce yıl boyunca sadece kuşlara bakarak kurduğu uçuş hayalini zekâsı ile mekanize uçuşla gerçekleştirmiş olup, atmosferin sınırlarını aşan bir tutkuya dönüşmüş ve bugün bizi yerkürenin ötesinde, derin uzayın derinliklerini keşfeden bir tür haline getirmiştir. İlk olarak yeryüzünden ayrılan insan Rus kozmonot Yuri Gagarin'dir. Gagarin, Dünya çevresindeki yörüngede 89 dakika 34 saniye boyunca yol aldı ve 180 dakika sonra dünyaya geri döndü. Daha sonra 1960 yılında Apollo 11 programıyla ilk olarak ay yüzeyine Amerikalı astronot Neil Armstrong ve Buzz Aldrin iniş yapmış ve ilk ay yürüyüşünü gerçekleştirmiştir.

Atmosferin ötesine yapılan her insanlı görev, ileri mühendislik sistemlerinin başarısının yanı sıra, bu sistemlerin içinde görev yapan insan organizmasının fizyolojik sınırlarını da doğrudan sınamaktadır. Dolayısıyla insanlı uzay görevleri, yalnızca bir mühendislik problemi değil; kapsamlı, öngörülmesi ve yönetilmesi gereken bir havacılık ve uzay hekimliği süreci olarak ele alınmalıdır. Bu çevresel etkiler, uzayın derinlerinden ve güneşten gelen kozmik radyasyon, mikroyerçekimi, basınç farklılıkları, izole yaşam tarzı, sıcaklık farklılıkları ve mikroyerçekimi fizyolojisinden kaynaklanan kemik ve kas kayıpları gibi daha birçok olumsuz çevresel faktörlerdir. Hangi çevresel veya fizyolojik etmenlerin, astronot üzerinde nasıl etkisi olduğu, uçuş süresi ve görevin yapılacağı yörünge ile ilişkilidir.

Uzay uçuşu, çok sayıda operasyonel ve çevresel risk faktörü içerir. Uzay yolculuğunun belki de en büyüleyici ama bir o kadar da zorlayıcı yönlerinden biri, mikroyerçekimi ortamıdır. Dünya üzerinde milyonlarca yıldır yerçekimine göre evrilen insan fizyolojisi için bu sıfır G'ye yakın ortam, organlarımızdan hücrelerimize kadar her düzeyde derin ve ani değişimleri tetikler (1). Hepiniz Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki astronotları ağırlıksız ortamda süzülürken

görmüşsünüzdür. Aslında, dünyadan yaklaşık 330 - 435 kilometre yukarıda yer alan bu istasyonda, insan vücuduna etki eden yerçekimi kuvveti, yeryüzünde bizlere etki edenden çok da az değildir. Buradaki esas olay istasyonun ve içindeki astronotların aynı anda serbest düşüş yapmalarındır.

Dünya koşullarında yerçekimi, vücut sıvılarının yaklaşık %60'ının alt ekstremitelerde ve splanknik yatakta toplanmasına neden olur. Mikroyerçekimi ortamında ise hidrostatik basınç gradyenti ortadan kalkar ve bu durum vücut sıvılarının kranial yönde yeniden dağılımına yol açar. Bu fenomene "**cephalad fluid shift**" (sıvı kayması) adı verilir. Ayaklardan ve bacaklardan yaklaşık 1,5 ila 2 litre sıvı, göğüs kafesi ve baş bölgesine doğru yer değiştirir. Bu durum, literatürde "**Puffy Face - Bird Leg (Şişkin Face - Kuş Bacağı) Sendromu**" olarak bilinir. Bacak hacmi daralırken, yüz dokuları ödemlenir. Sıvıların baş bölgesinde birikmesi sadece estetik bir değişim değil, ciddi bir iç basınç değişikliğidir (2,3).

- **Vasküler Engorjman:** Baş ve boyundaki venöz yapılar aşırı dolar. Jugüler venöz genişleme belirginleşir.
- **SANS (Space-Associated Neuro-ocular Syndrome):** Bu sıvı birikmesi, kafa içi basıncın artmasına neden olabilir. Bu da optik sinir kılıfında genişleme, koroid katlanmaları ve görme bozukluklarına yol açan SANS tablosunu tetikleyebilir.
- **Nazal Konjesyon:** Burun mukozasındaki doku ödemi, kronik bir "soğuk algınlığı" hissi ve koku alma duyusunda azalma gözlenir.

Bu süreç, vücudun "aşırı sıvı yükü" algılamasıyla devam eder ve Atriyal Natriüretik Peptid (ANP) salgısı artarken, Antidiüretik Hormon (ADH) ve Renin-Anjiyotensin-Aldosteron sistemi baskılanır. Sonuç olarak vücut, plazma hacmini azaltmak için idrar çıkışını artırır, buna "**uzay diürezi**" denir. Bu, ilk birkaç gün içinde plazma hacminde %10-15'lik bir azalmaya ve bir nevi "fizyolojik dehidratasyona" yol açar.

2. AĞIRLIKSIZ ORTAMIN KAS İSKELET SİSTEMİ ETKİLERİ

Uzayda mekanik yük veya kemiklerin desteklemesi için gereken ağırlık miktarı neredeyse sıfıra yakındır. Aynı zamanda harekete yardımcı olan birçok kemik artık Dünya'da olduğu kadar yoğun olarak kullanılmamaktadır. Mikroyerçekimi altında karşılaşılan bu özellikler uzay yolculuğu sırasında osteoporoz ve kas atrofisi gelişimini tetikler (4). Kemikler normalde Dünya'da karşılaşılan mekanik yüklerden kurtulduğunda kemiklerde depolanan

kalsiyum parçalanarak kan dolaşımına salınır. Yoğunluk veya kemik kütleindeki bu azalma, “**kullanılmamaya bağlı osteoporoz**” olarak adlandırılır. Özellikle uzun süreli uzay uçuşları sırasında kas-iskelet sisteminin genel bütünlüğünün korunması, görevlerin tamamlanması ve görev sırasında ve sonrasında astronotların sağlığının korunması için önemlidir. Genellikle, en çok etkilenen kaslar, normalde yerçekimi ortamında vücudun dik pozisyonunu koruyan duruş kaslarıdır. Şu anda, yüksek yoğunluklu direnç egzersizleri ve aerobik tabanlı egzersizler, mikroyerçekiminin kemik bakımı üzerindeki etkilerini etkili bir şekilde azaltmak için en çok tercih edilen stratejiler olarak kabul edilmektedir. Kemik ve kasların zayıflaması ilerleyicidir ve bu nedenle görev süresi uzadıkça artar. Egzersiz, kemik kaybının önlenmesinde önemlidir. Diğer çalışmalar kemik kaybının ilaç veya hormon destekli azaltılması konusunda yoğunlaşmıştır.

Uzun süreli yatak istirahati veya yerçekimsiz ortamda yaşama gibi kasların kullanılmadığı durumlarda da kaslar erir ve zayıflar (Yatak istirahati, Hind Limb Suspension – HLS). En fazla kas erimesi baldır, uyluk, alt sırt ve boyun gibi yerçekimine karşı kullanılan ve dünyada postürün sağlanmasından sorumlu kaslarda olur. Astronotların boyları uzayda kaldıkları süre boyunca %3 oranında uzar. Bunun sebebi ise yerçekimsiz ortamın omurga üzerinde yükü almasından dolayı belkemiğindeki yumuşak disklere rahatlama ve genişleme imkânı sunmasıdır. Dünyaya gelen astronotlar ise ancak birkaç ay sonunda eski boylarına geri dönebilirler.

3. ATMOSFER DEĞİŞİKLİKLERİ

İrtifa arttıkça yaklaşık 19.200 metrede (63.000 feet) karşılaşılan Armstrong Hattı’nda ortam basıncı 47 mmHg'ye düşer ve normal vücut sıcaklığında (37°C) su buharlaşmaya başlar. Bu basınca veya daha düşük basınca doğrudan maruz kalan vücut sıvıları, örneğin dil veya açıkta kalan mukus zarları “kaynayarak uzaklaşacaktır”. Ortam basıncı azaldıkça, elastik doku kuvvetleri aşılır ve vücutta çözülmüş gazlar, “**ebulizm**” olarak bilinen bir olay olan oksijen, nitrojen ve su buharı da dahil olmak üzere kabarcıklara dönüşür.

Dekompresyon hastalığı (DKH) ise vücut dokuları veya sıvılarındaki azotun kabarcık haline gelip, bir emboli gibi davranması sonucu ortaya çıkar. Normal metabolizmayı engelleyerek hücre iskemisine, ağrıya ve ölüme neden olabilir. Hastalık deniz seviyesinden hipobarik bir ortama geçişin olduğu yüksek irtifalarda görev yapan havacılar da görülür.

Yüksek atmosferik basınç durumundan (Uluslararası Uzay İstasyonu, basıncı 14,7 psi) daha düşük basınç durumuna (EVA kıyafeti, basıncı 4,3 psi) geçen astronotlarda da ortaya çıkabilir.

Geçmişte düşük basınçlı - yüksek oksijenli bir ortam (Gemini, Apollo, Skylab - her biri 5 psi'de) dahil olmak üzere çeşitli DKH hafifletme stratejileri etkili bir şekilde kullanılmıştır. Dört saat kalkış öncesi ön oksijen soluma, dinlenme sırasında 4 saat süreyle suit içi ön soluma; orta düzeyde basınç ve hafif hipoksik ortamda 40 ila 75 dakikalık suit içi ön soluma ve egzersizle zenginleştirilmiş hem maske hem de suit içi solumayı içeren birkaç farklı protokol geliştirilmiştir. DKH bugüne kadar özellikle EVA ortamı ve öncelikle mikroyerçekimi ortamı için onaylanmış basınçlı solunum protokollerine sıkı sıkıya bağlı kalınarak etkili bir şekilde azaltılmıştır. Etkili olmakla birlikte bu protokoller karmaşık olabilir ve önemli oranda uçuş öncesi eğitimi, uçuş sırasında uçuş ekibi zamanı ve sarf malzemesi kullanımı gerektirebilir.

4. UZAY HAREKET HASTALIĞI

Mikroyerçekimi ortamında iç kulak tarafından algılanan hareket uyarıları modifiye edilir; görsel ve propriyoseptif girdilerle daha da karmaşık hale gelir. Bu hareket algıları yanlış yorumlamalara ve beyin tarafından yetersiz yanıtlara yol açar. Bu yanıtlardan biri “**Uzay Hareket Hastalığı**” (UHH) olarak bilinir.

UHH, mikroyerçekimine maruziyetin ilk birkaç günü içinde deneyimlenen özel bir hareket hastalığı tipidir. Hastalık iştah kaybı, spesifik olmayan bir halsizlik, uyuşukluk, gastrointestinal rahatsızlık, bulantı ve kusma gibi semptomları içerebilir. Diğer hareket hastalığı formlarında olduğu gibi, aşırı duyarlı kişilerde zorlu görevleri yerine getirme yeteneğinin azalmasına neden olabilecek motivasyon kaybına da neden olabilir. Gastrointestinal semptomlar orbital yerleştirmeden dakikalar ile saatler sonra başlar. Yörüngede erken kafa hareketi genellikle bu semptomları artırır. Semptomların azalması genellikle 30-48 saat arasında gerçekleşir ve iyileşme hızlıdır. Uyuşukluk, zihinsel donukluk ve yönelim bozukluğu ile karakterize edilen “Sopite Sendromu” olarak bilinen daha az dramatik bir hareket hastalığı formu da oluşabilmektedir.

UHH'nin patogenezi için öne sürülen çeşitli teoriler mevcuttur. Sıvı kayması teorisine göre, yerçekimsizlik nedeniyle kanın kranial bölgeye doğru göllenmesi sonucu artan hidrostatik basınç iç kulak sıvı basıncına yansımakta ve bu yansıma vestibüler reseptör seviyesindeki cevabı değiştirmektedir. Bir diğer teori olan duyuş çatışma teorisine göre ise

yeryüzünde 1 G yer çekimi kuvveti altında konumsal oryantasyonumuzu ve dengemizi sağlamak amacıyla dört yerden (otolit, semisirküler kanallar, görsel ve propriyoseptif sistem) gelen ve santral sinir sisteminde belli bir uyum içinde birleştirilip yorumlanan uyarıların mikroyerçekimi altında uyum ve senkronizasyonu bozulmakta ve duysal veri girdileri kendi içlerinde çatışabilmektedir (2,3). Hem ABD hem de Rus uzay programlarında elde edilen sonuçlar, uzay uçuş ekibinin çoğunun, bazı UHH semptomları yaşadığını (>%70) ve bu semptomların kafa hareketleriyle ortaya çıktığını veya kötüleştiğini göstermektedir (5).

5. “CREW MEDICAL OFFICER”

Tüm mürettebat üyeleri, tıbbi kittede bulunan reçetesiz ilaçlara bir CMO'ya (Crew Medical Officer) veya yer ekibine bildirimde bulunmaksızın erişebilir ve bunları kullanabilir; ancak kullanılan ilacın türü, dozu ve kullanım sıklığının kişisel dosyada kaydedilmesi istenir. Her Uzay Mekiği mürettebatında iki kişi CMO olarak görevlendirilir; CMO'lar nadiren hekimdir, ancak yer tabanlı uçuş cerrahına acil danışma gereksinimi olmaksızın küçük travmaları ve hastalıkları değerlendirecek ve tedavi edecek yeterli özerklik ve eğitime sahiptirler. Hekim olmayan CMO'lar, reçeteli ilaçları yalnızca uçuş cerrahının yönlendirmesiyle veya tıbbi prosedürler kılavuzunda belirtilen koşullar sağlandığında kullanabilir (6).

Yörüngedeki CMO ayrıca, günlük olarak yapılan “Private Medical Conference” (PMC) aracılığıyla yer tabanlı uçuş cerrahıyla görüşebilir. PMC'ler Uzay Mekiği operasyonlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Bu konferanslar sırasında Görev Kontrol Merkezi, mürettebat ile uçuş cerrahı arasında tamamen gizli bir iletişim hattı oluşturur. PMC'lerin amacı, mürettebatın tıbbi kapasitesini artırmak ve uçuş cerrahının, uçak içindeki bir tıbbi sorunun görev zaman çizelgesi veya görev planı üzerindeki etkilerini yer ekibine iletebilmesini sağlamaktır. CMO'lar bilgi ve uzmanlık açısından önemli ölçüde desteklenirken tam gizlilik garanti edilir; uçuş cerrahı, yer ekibiyle tanımlanmış iletişim kuralları çerçevesinde çalışarak hasta veya yaralı mürettebatın tedavisini destekler.

KAYNAKLAR

1. National Aeronautics and Space Administration. *Human Integration Design Handbook*. NASA; 2014.

2. Barratt MR. Space physiology and medicine. In: Gradwell DP, Rainford DJ, eds. *Ernsting's Aviation Medicine*. 5th ed. Taylor & Francis Group; 2016:323-354.
3. Banks RD, Brinkley JW, Allnutt R, Harding RM. *Fundamentals of Aerospace Medicine*. 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2008:90-95.
4. LeBlanc A, Schneider V, Shackelford L, West S, Oganov V, Bakulin A, Voronin L. Bone mineral and lean tissue loss after long duration space flight. *J Musculoskeletal Neuronal Interact*. 2000 Dec;1(2):157-60. PMID: 15758512.
5. Davis JR et al. *Space Physiology and Medicine*. Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
6. National Aeronautics and Space Administration. *NASA Flight Surgeon Operations Manual*. NASA.

TEMEL YAŞAM DESTEĞİ

Prof. Dr. Şahin Kaymak

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Genel Cerrahi AD.

1. GİRİŞ

Bu bölüm, ani kardiyak arrest durumlarında uygulanacak Temel Yaşam Desteği (TYD) protokollerini ve karın yaralanmalarında (künt/penetran) ilk yardım prensiplerini kapsamlı biçimde içermektedir. Bilgiler uluslararası resüsitasyon kılavuzları ve ulusal ilk yardım protokollerine dayanmaktadır. Bu yazıda, sağlık çalışanları ve ilk yardım eğitimi alan bireyler için pratik referans kaynağı sağlamak amaçlanmıştır.

2. TEMEL YAŞAM DESTEĞİ (TYD)

2.1 Solunum Durması Tanımı

Solunum durması; solunum hareketlerinin tamamen kesilmesi nedeniyle vücudun yaşamak için ihtiyaç duyduğu oksijenden yoksun kalması durumudur. Bu durumda hemen yapay solunuma başlanmazsa kısa süre içinde kalp durması meydana gelir.

2.2 Kalp Durması Tanımı

Kalp durması; bilinci kapalı kişide büyük arterlerden (karotis, femoral) nabzın alınamaması durumudur. Kalp durmasına 5 dakika içinde müdahale edilmezse dokuların oksijenlenmesi bozulur ve kalıcı beyin hasarı oluşur.

Kalp durmasının belirtileri aşağıda sıralanmıştır;

- Kişide bilincin kapalı olması
- Kişide solunumun olmaması
- Hiç hareket etmemesi
- Uyarılara cevap vermemesi

2.3 Temel Yaşam Desteği Tanımı

Temel yaşam desteği; hayat kurtarmak amacı ile hiçbir yaşam belirtisi görülmeyen kişiye, dış kalp masajı ile kalpten kan pompalanmasını ve yapay solunum ile akciğerlere oksijen gitmesini sağlamak üzere yapılan ilaçsız müdahalelerdir.

2.4 Erişkinlerde TYD Basamakları

1. Çevre güvenliğinin sağlanması:

İlk yardımcı öncelikle kendisinin, çevrede bulunanların ve hastanın güvenliğini sağlamalıdır. Bulaşıcı hastalıklardan korunmak için eldiven, maske kullanmalıdır.

2. Hastada bilinç kontrolü:

Hasta her iki omzundan tutularak, boyun ve başa hareket vermektten kaçınılarak hafifçe sallanır ve "Nasılsınız? İyi misiniz?" diye sorulur.

Bilinç açıksa: Yaşam riski yoksa pozisyonu korunur, düzenli izlenir.

Bilinç kapalıysa: Sırtüstü pozisyona alınır, devam edilir.

3. 112'nin aratılması

Etrafta yardım varsa hemen 112 aratılır.

4. Hava yolu açıklığının sağlanması (Airway)

Ağız içi kontrol edilir, yabancı cisim varsa çıkarılır.

Baş geri-çene yukarı manevrası ile hava yolu açılır.

5. Solunumun değerlendirilmesi (Breathing)

En fazla 10 saniye içinde **BAK-DİNLE-HİSSET** yöntemi:

5.1. Göğüs hareketi bakılır

5.2. Solunum sesi dinlenir

5.3. Hava akımı hissedilir

6. İlk yardımcı yalnızsa 112 aranır

7. Dolaşımın desteklenmesi (Circulation)

2.5 Kalp Masajı Tekniği

Hazırlık:

- Hastanın yan tarafına diz çökülür
- Göğüs kafesinin alt/üst ucu tespit edilir
- Sternum alt yarısına el topuğu yerleştirilir
- Diğer el üstüne konur, parmaklar kenetlenir

Uygulama:

- Parmaklar göğüse temas etmez
- Kollar dik, dirsekler düz
- Yukarıdan aşağı 5-6 cm derinlikte bası
- Dakikada 100-120 bası hızı
- **30 kalp basısı** uygulanır
- Her basıdan sonra göğüs eski haline döner

Ritim: "Bir-iki-üç... otuz" şeklinde yüksek sesle sayılır.

2.6 Yapay Solunum (30:2 Oranı)

Teknik:

1. 30 bası sonrası hava yolu açılır
2. Burun baş-ışaret parmakları ile sıkıştırılır
3. Ağızdan-ağıza hava verilir (hava kaçağı yok)
4. Göğüs yükselmesi gözlenir (1 saniye/nefeste)
5. 2 soluk toplam 5 saniye
6. Gecikmesiz 30 basıya dönülür

Korunma: Tülbent/gazlı bez bariyeri kullanılır.

Sorunlar:

- Göğüs yükselmez → pozisyon düzelt/tıkanıklık kontrol
- Sürekli devam: Hasta canlanana/112 gelene kadar

3. KARIN YARALANMALARINDA İLK YARDIM

Karın yaralanmaları künt ve penetran olarak ikiye ayrılır. Her ikisi de ciddi ve ölümcül sonuçlara yol açabilir.

3.1 Künt Karın Yaralanmaları

Künt karın yaralanmalarına ait nedenler aşağıda sıralanmıştır;

- Araç içi/dışı trafik kazası
- Yüksekten düşme
- Göçük altında kalma

Künt karın yaralanmalarında görülebilecek belirti ve bulgular aşağıda sıralanmıştır;

- Karında ağrı, hassasiyet
- Bulantı, kusma
- Karında abrazyon, laserasyonlar
- Kızarıklık, morluk
- Şişkinlik
- Solukluk
- İç kanamaya bağlı şok bulguları

3.1.1 Künt Karın Yaralanmalarında İlk Yardım Adımları

1. **Bilinç kontrolü** yapılır

2. **112 aranır** veya aratılır
3. **Yaşamsal bulgular** kontrol edilir
4. Hasta **düz zemine yatırılır**
5. **İç kanama/şok izlemi** yapılır
6. **Su dahil yiyecek/içecek verilmez**
7. Bilinç kapanır, solunum varsa **derlenme pozisyonu**
8. **Solunum durursa TYD başlar**

Önemli: Künt yaralanmalar görüldüğünden ciddi olabilir!

3.2 Penetran Karın Yaralanmaları

Penetran karın yaralanmalarına ait nedenler aşağıda sıralanmıştır;

- Ateşli silahlar
- Delici-kesici aletler

Penetran karın yaralanmalarında görülebilecek belirti ve bulgular aşağıda sıralanmıştır;

- Karında ağrı, hassasiyet
- Bulantı, kusma
- Cilt kesisi
- Karına saplanmış cisim
- Kurşun/şarapnel giriş-çıkış delikleri
- Ciltten çıkan iç organlar (omentum, bağırsak)
- İç/dış kanama + şok

KRİTİK PRENSİPLER:

- ✗ Saplanmış cisim **ÇIKARILMAZ**
- ✗ Dışarı çıkan organ içeri **SOKULMAZ**
- ✗ Kuru pansuman **YAPILMAZ**

3.2.1 Penetran Karın Yaralanmalarında İlk Yardım Adımları:

1. **Bilinç kontrolü + 112**
2. **Yaşamsal bulgular** izlenir
3. **Düz zemine yatırılır**
4. **Dizler bükülür** (karın gerginliği azalır)
5. **Yara temiz pansumanla örtülür**
6. **Dış kanama → doğrudan bası**
7. **Dışarı çıkan organlar:**

- Dokunulmaz
- Temiz nemli bezle örtülür

8. **Saplanmış cisim:**

- Gazlı bez/rulo sargı ile **360° sabitlenir**

9. **Üst örtülür** (ısı kaybı önlenir)

10. **Şok izlemi + TYD hazırlığı**

3.2.2 Penetran Karın Yaralanmalarında Şok Yönetimi

Şok belirtileri:

- Taşikardi (>100/dk)
- Hipotansiyon (<90 mmHg)
- Soluk terli cilt

Şok Gelişimini Önlemek için Öneriler:

- Düz yatırma
- Dizler 30° yukarı
- Hızlı sevk

4. DERLENME POZİSYONU VE YAŞAM ZİNCİRİ

4.1 Derlenme Pozisyonu:

Normal solunum varsa ve travma şüphesi yoksa uygulanır. Hava yolunu korur, aspirasyonu önler.



Şekil 1. Derlenme pozisyonu

4.2 Yaşam Zinciri:

Erken tanı → Erken TYD → Erken defibrilasyon → Erken ileri yaşam desteği

5. SONUÇ VE EĞİTİM ÖNERİLERİ

Temel Yaşam Desteği dakikalarla yarışır. Her saniye kritik öneme sahiptir. Karın yaralanmalarında şok yönetimi hayatta kalımın anahtarıdır.

5.1 TYD eğitimleri hakkında öneriler

- Yılda 1 kez TYD yenileme
- Simülasyon uygulamaları
- Toplum eğitimi

KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı. Temel İlk Yardım Eğitim Kitabı. Ankara, Türkiye: Sağlık Bakanlığı Yayınları; 2023.
2. European Resuscitation Council. ERC Guidelines 2021: Adult basic life support. *Resuscitation*. 2021;161:119-127.
3. American Heart Association. 2020 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2020;142(16 suppl 2).
4. Türkiye Acil Tıp Birliği Derneği (ATUDER). Yetişkin Temel Yaşam Desteği Protokolü. 2022.
5. Ulusal İlk Yardım Komisyonu. Yaralanmalarda İlk Yardım Uygulamaları Rehberi. 2024.

GÖĞÜS TRAVMALARINDA İLK YARDIM VE TEMEL YAKLAŞIM PRENSİPLERİ

Doç. Dr. Hakan IŞIK

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Göğüs Cerrahisi AD.

1. GİRİŞ

Toraks travmaları, göğüs kafesi ile içindeki akciğer, kalp ve büyük damarlar gibi hayati organların doğrudan veya dolaylı yaralanmasıdır. Acil servis başvurularının en kritik nedenlerinden biri olan bu yaralanmalar, travmaya bağlı ölümlerin yaklaşık %35'inden sorumludur.

Ölümlerin zamanlaması incelendiğinde; ilk dakikalarda genellikle havayolu obstrüksiyonu ve büyük damar yaralanmaları rol oynarken, ilk saatlerde tansiyon pnömotoraks ve kardiyak tamponad gibi durumlar öne çıkar. Bu nedenle, toraks travmalarında mortal seyreden olguların çoğu ilk 10 dakika içerisinde hayatını kaybetmektedir. Yapılan çalışmalar, bu kritik "ilk 10 dakikada" uygulanan doğru müdahalenin mortaliteyi %25-40 oranında azaltabildiğini göstermektedir.

Bu bölümde, göğüs cerrahisi acillerinde hayat kurtarıcı olan pnömotoraks çeşitleri, yelken göğüs ve hemotoraks gibi tablolara yaklaşımda evrensel olarak kabul gören ABCDE (Havayolu, Solunum, Dolaşım, Nöroloji, Tam Vücut Muayenesi) protokolü çerçevesinde temel tanı ve tedavi prensipleri ele alınacaktır. Doğru tanı ve hızlı müdahale, bu kritik tabloların yönetiminde başarının anahtarıdır.

2. TORAKS TRAVMALARINA GENEL BAKIŞ

Toraks travmaları, göğüs kafesi ve içindeki hayati organların (akciğer, kalp, büyük damarlar) doğrudan veya dolaylı olarak yaralanmasıdır. Acil servis başvurularının en kritik nedenlerinden birisidir ve travmaya bağlı ölümlerin %35'i kadarından sorumludur. Doğru tanı ve hızlı müdahale ile mortalite önemli ölçüde azaltılabilir. Travmanın ilk anından geç dönemlerine kadar mortalite ve morbidite ile sonuçlanabileceği akılda tutulmalıdır (Tablo 1).

Başlıca nedenleri:

- Trafik kazaları
- Yüksekten düşmeler
- Delici-kesici alet yaralanmaları
- Künt travmalar ve ezilme yaralanmaları
- Ateşli silah yaralanmaları

Tablo 1. Toraks travmasında ölüm nedenleri

İlk dakikalar	İlk saatler	Geç dönem
Hava yolu obstrüksiyonu	Tansiyon pnömotoraks	Enfeksiyon, sepsis
Büyük damar yaralanmaları	Hemotoraks	Akut respiratuar distres sendromu (ARDS)
	Kardiyak tamponad	Çoklu organ yetmezliği

1.1 Toraks Travmalarında İlk Yardımın Önemi

Toraks travmalarında mortal seyreden olgularda genellikle hastalar ilk 10 dakika içerisinde hayatını kaybeder. Yapılan çalışmalar ilk 10 dakikada yapılan doğru müdahalenin, mortaliteyi %25-40 oranında azalttığını göstermektedir (1). İlk müdahale de evrensel kabul gören ABCDE sıralaması takip edilmelidir (A: Havayolu, B: Solunum, C: Dolaşım, D: Nörolojik durum, E: Tam vücut muayenesi). Panik yerine protokole bağlı kalarak yapılan değerlendirme başarı oranını artırır.

3. PNÖMOTORAKS

Pnömotoraks, parietal ve visseral plevra yaprakları arasındaki potansiyel boşluğa hava girmesi ve buna bağlı olarak akciğerin değişen oranlarda kollabe olması (sönmesi) durumudur. Normal şartlarda plevral aralıkta negatif basınç bulunur (ortalama -5 cmH₂O). Bu basınç sağladığı vakum etkisi ile akciğerin göğüs duvarı ile birlikte hareket etmesini ve ekspansiyon durumunda kalmasını sağlar. Bu basınç dengesinin bozulması akciğerin kollabe olması ve ventilasyon mekaniğinin bozulması ile sonuçlanır (2). Pnömotoraks olgularında intraplevral alana hava farklı yollardan bulaşabilir. Havanın kaynağına göre olası pnömotoraks mekanizmaları şu şekilde özetlenebilir:

- Göğüs duvarı bütünlüğünü bozulması durumunda atmosferik havanın bu defektten toraksa girmesi
- Travmaya bağlı akciğer parankim hasarı veya bül ve bleplerin rüptürüne bağlı akciğer parankiminden plevral aralığa havanın geçişi
- Özefagus, trakea veya ana bronş rüptürlerine bağlı plevral aralığa havanın geçişi

3.1 Tanı

Pnömotoraks olgularının tanısında fizik muayene bulguları ve direk akciğer grafisi genellikle yeterlidir (Resim 1). Hastanın durumunun stabil olmaması veya devam eden

kardiyopulmoner resüstasyon gibi grafi çekilemeyecek durumlarda ultrasonografi iyi bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Grafi veya fizik muayene ile karar verilemeyen olgularda bilgisayarlı tomografi altın standart tetkik olarak kabul edilir (3). Pnömotoraks olgularının fizik muayene bulguları aşağıda özetlenmiştir.

- Omuza vuran göğüs ağrısı ve nefes darlığı hastanın başlıca şikayetleridir.
- Takipne ve Dispne: Hasta yüzeysel ve hızlı nefes alır.
- Asimetrik Göğüs Hareketleri: Etkilenen tarafın solunuma katılımı azalmıştır veya tamamen kaybolmuştur.
- Yardımcı Solunum Kaslarının Kullanımı: İnterkostal ve suprasternal çekilmeler görülebilir.
- Oskültasyonda etkilenen tarafta solunum sesleri azalmıştır veya hiç alınamaz.
- Siyanoz: Genellikle geniş veya tansiyon pnömotorakslarda görülür.

3.1 Tedavi

Pnömotorakslı bir hastada ilk yaklaşım, hastanın vital bulgularını stabilize etmek ve plevral boşluktaki havayı tahliye ederek akciğer ekspansiyonunu sağlamaktır. Her acil durumda olduğu gibi, müdahale ABC (Airway, Breathing, Circulation) prensibiyle başlar. Havayolu açıklığı sağlandıktan sonra hastaya oksijen desteği başlanır. Hasta 45 derece yarı oturur pozisyona getirilip nazal veya maske ile oksijen desteği sağlanmalıdır. Solunum sayısı, nabız, kan basıncı ve oksijen saturasyonunu sürekli monitörize edilir. Damar yolu açılır ve ardından tüp torakostomi veya iğne ile dekompresyon işlemlerine geçilir. Pnömotoraks olgularında basit pnömotoraks ve tansiyon pnömotoraks ayrımını yapmak son derece önemlidir. Tansiyon pnömotoraks dakikalar içerisinde mortalite ile sonuçlanabilecek acil bir durum olup, tanı ardından en hızlı şekilde dekompresyon işlemi yapılmalıdır. Tansiyon pnömotoraks olgularına yaklaşım ayrı bir bölüm olarak anlatılmıştır.

4. TANSİYON PNÖMOTORAKS

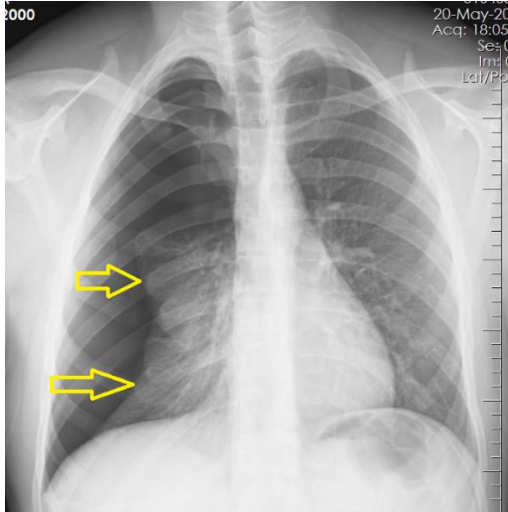
Tansiyon pnömotoraks, plevral boşlukta basınçlı hava birikmesiyle karakterize, akciğer kollapsına ve mediastinal şifte (kaymaya) neden olan, yaşamı tehdit eden acil bir tablodur. Bu tablo; künt veya penetran göğüs travmaları, mekanik ventilasyona bağlı barotravmalar veya iyatrojenik yaralanmalar sonucunda gelişebilir. Temel patofizyolojik süreç, plevral boşlukta oluşan "tek yönlü valf" mekanizmasına dayanır. Bu mekanizma, inspiyum sırasında havanın plevral boşluğa girmesine izin verirken, ekspiryum sırasında havanın dışarı çıkışını engelleyerek intratorasik basıncın hızla yükselmesine yol açar. Artan intratorasik basınç

akciğerin total kollabe olmasına mediasteninin karşı tarafa itilmesine ve karşı akciğerinde komprese olmasına neden olur. Bu tablo sonucunda hasta hızla solunum ve dolaşım yetmezliğine girer (4).

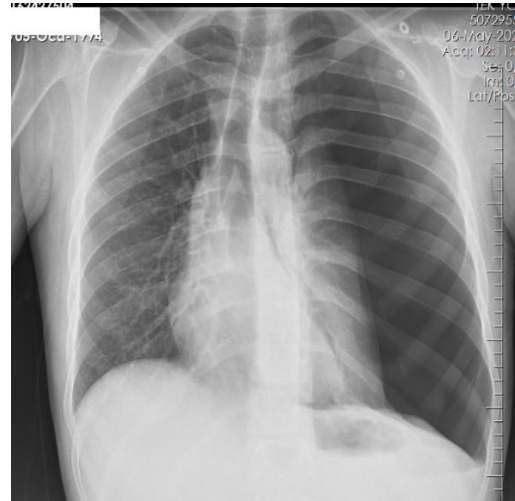
4.1 Tanı

Tansiyon pnömotoraks tanısı fizik muayene bulguları ile konur ve imkan var ise radyolojik görüntüleme ile desteklenir. Yapılan muayenede tansiyon pnömotoraks bulguları tespit edildi ise görüntüleme için zaman kaybedilmeden hemen iğne ile dekompresyon işlemi uygulanmalıdır. Posteroanterior grafide akciğer total kollabe, diyafragma deprese, mediastinal şift ve interkostal aralıklar genişlemiş olarak görülür (Resim 2). Fizik muayene bulguları:

- Hastada ciddi solunum sıkıntısı mevcut olup, sık ve kesik kesik solur
- Taşipne, taşikardi ve hipotansiyon izlenir
- Saturasyonu düşüktür ve oksijen desteğine rağmen yeteri kadar yükseltilemez
- Trakea deviasyonu (karşı tarafa)
- Boyun venlerinde dolgunluk
- İlgili hemitoraksın solunuma iştiraki çok azalmış veya hiç yoktur
- Oskültasyonda solunum sesleri alınamaz
- Siyanoz, hipotansiyon ve şok bulguları izlenir



Resim 1. Sağ Pnömotoraks, PA grafisi



Resim 2. Sol Tansiyon Pnömotoraks, PA grafisi

4.2 Tedavi

Tansiyon pnömotoraks saptanan hastada kesin tedavi tüp torakostomi olsa da, göğüs tüpü hazırlanana kadar geçen sürede hastanın kardiyovasküler kollapsını önlemek için derhal **iğne**

dekompresyonu uygulanmalıdır. Bu işlem, yüksek intratorasik basıncı hızla düşürerek venöz dönüşün ve kardiyak debinin düzelmesini sağlar. Bu işlem için geleneksel ve güncel kılavuzlar (ATLS 10) ışığında iki temel lokalizasyon mevcuttur (5):

- 2. İnterkostal Aralık (Geleneksel): Orta klaviküler hat üzerinde, kaburganın hemen üst kenarından (nörovasküler paketten kaçınmak için) girilir. Bu lokalizasyon ulaşım ve uygulama kolaylığı sağlar; ancak özellikle kaslı veya obez hastalarda bu bölgedeki göğüs duvarı kalınlığının iğne boyunu aşabileceği unutulmamalıdır.
- 4. veya 5. İnterkostal Aralık (Güncel Tercih): Ön aksiller hat üzerinde (tüp torakostomi bölgesi). Bu bölge, göğüs duvarının daha ince olması nedeniyle daha güvenilir bir dekompresyon sağlayabilir.

İğne dekompresyonu için özel tasarlanmış dekompresyon iğneleri ilk tercihtir; ancak geniş çaplı ve uzun bir anjioket ile de uygulanabilir. İğne, plevral boşluğa dik bir açıyla ilerletilir. Hava çıkışının sesi duyulduğunda veya enjektöre hava geldiğinde iğne geri çekilerek kateter içeride bırakılır. Bu işlem çok kısa sürede hastanın tablosunda dramatik bir düzelme sağlar ancak nihai bir tedavi yöntemi değildir. Bu işlem ile hastanın durumu stabilize edildikten sonra zaman kaybedilmeden tüp torakostomi işlemine geçilmelidir. Sık yapılan bir hata, iğne dekompresyonunun pnömotoraksı tedavi ettiği algısıdır. Bu işlem sadece kapalı ve yüksek basınçlı bir pnömotoraksı açık pnömotoraksa çevirme işlemidir. Sonrasında hastaya mutlaka tüp torakostomi işlemi uygulanarak pnömotoraksın da tedavisi sağlanmalıdır (6).

5. YELKEN GÖĞÜS

Yelken Göğüs, ardışık en az iki veya daha fazla kaburganın, en az ikişer yerinden kırılması veya sternumu da içeren geniş ve çoklu kemik kırıkları sonucunda göğüs duvarının bir bölümünün kemik kafesle olan bağlantısının kopmasıdır. Sonuçta göğüs duvarının geri kalanı ile bağlantısı kesilmiş olan bağımsız bir segment oluşur. Bu durumun en karakteristik fizik muayene bulgusu “paradoksal solunumdur”. Bu solunum inspiryumda negatif intratorasik basınç nedeniyle, kırık olan serbest segment içeriye doğru çöker, ekspiryumda ise artan pozitif basınçla birlikte, serbest segment dışarıya doğru itilir. İncelemede normal solunum hareketlerinin zıttı yönde hareket eden bir segment izlenir. Yelken göğüste asıl hayatı tehdit eden unsur sadece kemik kırıkları değil, bu şiddetli travmaya eşlik eden akciğer kontüzyonudur, Kontüzyon; ödem, inflamasyon ve şant artışına bağlı olarak ağır hipoksemiye yol açabilir (7).

5.1 Tanı

- Göğüs duvarındaki paradoksal solunum hareketi (içeri-dışarı asimetrisi) en net bulgudur. Ancak hastada şiddetli kas spazmı veya mekanik ventilasyon desteği varsa bu hareket gizlenebilir.
- Palpasyonda kırık bölgesinde şiddetli hassasiyet ve krepitasyon (çıtırtı) alınır.
- Akciğer Grafisi: Kaburga kırıkları ve eşlik eden pnömo/hemotoraks görülebilir.
- Toraks BT: Altın standarttır. Kırıkların sayısını, yerini ve eşlik eden akciğer kontüzyonunun derecesini tam olarak gösterir.
- Arter Kan Gazı (AKG): Hipoksemi ve solunumsal asidoz düzeyini belirlemede kritiktir.

5.2 Tedavi

- Hasta solunum eforunu ve ağrısını en aza indirgeyecek pozisyona alınır. Hasta özelinde bu pozisyon değişmekle beraber genellikle yarı oturur pozisyon kullanılır
- Yeterli analjezi sağlanmalıdır. Ağrı nedeniyle hasta derin nefes alamaz ve sekresyonlarını atamaz. Bu da atelektazi ve pnömoniye yol açar. Epidural analjezi veya interkostal bloklar en etkili yöntemlerdir.
- Oksijen desteği sağlanır. Eğer hasta hipoksikse veya solunum yetmezliğine giriyorsa Pozitif Basıncılı Ventilasyon (CPAP veya Entübasyon) uygulanır. Bu uygulama, göğüs duvarını içeriden gelen basınçla stabilize eder (internal splinting).
- Kırık bölgesinin stabilizasyonu için, yumuşak bandaj uygulanabilir, ağırlık koyma veya elle sabitleme yöntemleri kullanılabilir. Bu işlem esnasında göğüs hareketini tamamen engellemeye ve kırık segmentin aşırı çökmemesine dikkat edilmelidir.

6. AÇIK PNÖMOTORAKS (AÇIK GÖĞÜS YARALANMASI)

Açık pnömotoraks, göğüs duvarında plevral boşluk ile dış ortam arasında doğrudan bağlantı sağlayan geniş bir defektin (açıklığın) bulunmasıdır. Havanın hareketi en az dirençli yolu izler. Eğer göğüs duvarındaki açıklık, trakea çapının yaklaşık 2/3'ünden daha büyükse, hava trakea yerine göğüs duvarındaki bu defektten içeri girer. Bu durum, akciğerin ekspansiyonunu imkansız hale getirerek ağır ventilasyon yetmezliğine yol açar. Tanı genellikle fizik muayene ile saniyeler içinde konulur. Göğüs duvarında açık bir yara ve her nefes alışta yaradan gelen "fıslama" veya "emilme" sesi duyulur. Yaradan kanlı köpükler çıkabilir (8). Yaralanma tarafındaki akciğer solunuma katılmaz, mediastinum her nefeste karşı tarafa doğru yer değiştirir (mediastinal flutter).

6.1 Tedavi

Tedavide temel amaç, açık olan yarayı "kapalı" hale getirmektir ancak bunu yaparken tansiyon pnömotoraks riskine dikkat edilmelidir.

- Üç Tarafı Kapalı Pansuman (Valf Tekniği): Yara üzerine hava geçirmeyen bir pansuman malzemesi (vazelinli gazlı bez veya plastik örtü) yerleştirilir. Bu malzemenin üç tarafı cilde flasterle sabitlenir, bir tarafı açık bırakılır. İnspiryumda örtü yaraya yapışarak dışarıdan hava girişini engeller; ekspiryumda ise içerideki havanın açık taraftan dışarı çıkmasına izin verir (çekvalf görevi görür). Günümüzde acil müdahale setlerinde pnömotoraks valfleri bulunmaktadır. Kendinden yapışkan bir mühür şeklinde kullanılan bu valf doğrudan açık yara üzerine uygulanarak kullanılabilir.
- Tüp Torakostomi: Üç tarafı kapalı pansuman uygulandıktan hemen sonra, yaranın uzağında başka bir noktadan (genellikle 4. veya 5. interkostal aralıktan) göğüs tüpü takılmalıdır.
- Cerrahi Onarım: Hasta stabilize edildikten sonra, göğüs duvarındaki defekt ameliyathane koşullarında debride edilerek cerrahi olarak kapatılır.

7. HEMOTORAKS

Plevral boşlukta kan birikmesi hemotoraks olarak tanımlanır. Göğüs cerrahisi pratiğinde en sık travmatik nedenlerle (künt veya penetran travma) karşımıza çıkar. Kaynaklar; interkostal arterler, internal mammarian arter, akciğer parankimi (genellikle düşük basınçlı kanama), büyük damarlar (aorta, pulmoner arter) veya kalp yaralanmalarıdır. Hemotoraks iki ana problem yaratır.

- Hacim Etkisi: Biriken kan akciğeri kollabe eder, ventilasyonu bozar ve mediasteni karşıya iterek venöz dönüşü azaltır.
- Hipovolemi: Plevral boşluk, her bir hemitoraksta yaklaşık 2-3 litre kan depolayabilir. Bu da hastanın dışarıya kanama olmadan hemorajik şoka girmesine neden olur (9).

7.1 Tanı

- Fizik Muayene: Pnömotoraksın aksine, perküsyonda matite (tok ses) alınır. Solunum sesleri azalmıştır ve vokal fremitus azalmıştır. Hipovolemiye bağlı taşikardi ve hipotansiyon eşlik eder.

- Radyoloji:
 - Ayakta PA-Akciğer Grafisi: Kostofrenik sinüsün kapanması (yaklaşık 200-300 ml kan gerektirir).
 - USG (FAST): Plevral sıvıyı saptamada çok hızlı ve hassastır.
- Laboratuvar: Plevral sıvının hematokrit değerinin, periferik kan hematokritinin %50'sinden fazla olması hemotoraks tanısını kesinleştirir.

7.2 Tedavi

Hemotoraksta, aktif kanamanın olduğu açık bir göğüs yaralanması veya doku defektinin eşlik ettiği geniş bir yaralanma varsa kanamayı durdurmak için kompresyon yapılmalıdır. Ardından hastanın kaybettiği rezerv yerine konulmalıdır. Kristaloidler ve gerekirse acil kan transfüzyonu ile hemodinami desteklenir.

7.2.1 Tüp Torakostomi (Drenaj): Hemotoraksta ilk cerrahi müdahale göğüs tüpü takılmasıdır. Bu işlem ile akciğerin ekspanse olması, kanama miktarının takibi ve plevral boşlukta kalan kanın organize olup "fibrotoraks" (akciğerin kabuk bağlaması) yaratmasının önlenmesi amaçlanır. Plevradaki hematoma ince tüpleri kolayca tıkalabileceği için genellikle daha geniş çaplı (28-32 Fr) tüpler tercih edilir.

7.2.2 Acil Torakotomi (Ameliyat) Endikasyonları: Bir göğüs cerrahisi için en kritik karar budur. Aşağıdaki durumlarda hasta acilen ameliyathaneye alınmalıdır:

- Masif Hemotoraks: Göğüs tüpü takılır takılmaz >1500 ml kan gelmesi.
- Devam Eden Kanama: İlk drenajdan sonra saatlik kanamanın 200 ml/saat üzerinde olması (2-4 saat boyunca).
- Hemodinamik İstabilite: Kan replasmanına rağmen tansiyonun düzelmemesi.

8. SONUÇ

Toraks travmaları, multidisipliner bir yaklaşım gerektiren ve zamanla yarışılan dinamik süreçlerdir. Bu bölümde incelediğimiz pnömotoraks, tansiyon pnömotoraks, yelken göğüs, açık göğüs yaralanmaları ve hemotoraks tabloları; hızlı fizik muayene ve radyolojik değerlendirme ile (özellikle USG ve BT) erken dönemde teşhis edilmelidir. Özetle:

- Tansiyon Pnömotoraks ve Açık Pnömotoraks için dekompresyon ve yara kapatma işlemleri radyolojik onay beklenmeksizin uygulanması gereken hayat kurtarıcı manevralardır.

- Yelken Göğüs yönetiminde odak noktası sadece kemik stabilizasyonu değil, eşlik eden akciğer kontüzyonunun tedavisi ve etkin analjezidir.
- Hemotoraks yönetiminde ise agresif resüsitasyon ve drenaj takibi, cerrahi endikasyon kararının (acil torakotomi) verilmesinde belirleyicidir.

Unutulmamalıdır ki, toraks travmalarında başarı; panik yerine protokole bağlı kalmaktan, ABCDE sıralamasını titizlikle takip etmekten ve girişimsel işlemler için gerekli olan "altın saatleri" doğru kullanmaktan geçer. Tıp fakültesi öğrencilerinin ve genç hekimlerin bu temel acil yaklaşımları özümsemesi, travma sahasında ve acil servislerde mortalite oranlarının düşürülmesinde en büyük paya sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Lodhia J V., Eyre L, Smith M, Toth L, Troxler M, Milton RS. Management of thoracic trauma. *Anaesthesia*. 2023;78(2):225–35.
2. Gottlieb M, Long B. Managing Spontaneous Pneumothorax. *Ann Emerg Med* 2023;81(5):568–76.
3. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of Pneumothorax by Radiography and Ultrasonography: A Meta-analysis. *Chest* 2011;140(4):859–66.
4. Sahota RJ, Sayad E. Tension Pneumothorax. *StatPearls*. 2025; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559090/>
5. Reineke E. Shock. *Feline Emergency and Critical Care Medicine: Second Edition*. 2022. 19–24 p.
6. Ball CG, Wyrzykowski AD, Kirkpatrick AW, Dente CJ, Nicholas JM, Salomone JP, et al. Thoracic needle decompression for tension pneumothorax: clinical correlation with catheter length. *Can J Surg*. 2010;53(3):184.
7. Dehghan N, De Mestral C, McKee MD, Schemitsch EH, Nathens A. Flail chest injuries: A review of outcomes and treatment practices from the national trauma data bank. *J Trauma Acute Care Surg*. 2014;76(2):462–8.
8. Kong VY, Liu M, Sartorius B, Clarke DL. Open pneumothorax: the spectrum and outcome of management based on Advanced Trauma Life Support recommendations. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2014;41(4):401–4.
9. Broderick SR. Hemothorax: Etiology, Diagnosis, and Management. *Thorac Surg Clin*. 2013;23(1):89–96

GÖRÜNMEZ TEHDİDE KARŞI KALKAN: KBRN GENEL İLKELERİ

Prof. Dr. Levent Kenar

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Savunma Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Tıbbi Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer (KBRN) Savunma AD.

1. GİRİŞ

Kimyasal biyolojik radyolojik nükleer (KBRN) ajanlar canlıları öldürerek veya yaralayarak etkisiz hale getirmek, besin ve su kaynaklarını kirletip, ekonomik önemi olan hedefleri işlemez hale getirmek, insanları koruyucu ekipman kullanmak zorunda bırakarak hareketlerini kısıtlamak, toplumda teröre ve paniğe sebep olmak amacıyla kullanılan öldürücülüğü yüksek toksisitesi yüksek kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer maddelerdir (1, 2).

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler hem kendi topraklarında hem de faaliyet gösterdikleri yabancı ülkelerin topraklarında KBRN yönünden açık saldırılara hedef olmaktadır. Örneğin, canlılarda oluşturdukları fiziksel ve kimyasal etkiler nedeniyle kitlesel ölümlere ve yaralanmalara neden olan zehirli kimyasal maddeler genel olarak kimyasal silah olarak tanımlanır. İnsanlarda ölüm, yaralanma, panik, hayvan ve yararlı bitkilerde ölüm veya hasar meydana getirmek için kullanılan mikroorganizmalar ile toksinlere biyolojik harp maddeleri adı verilir. Radyasyona maruziyet; radyasyon kazaları, radyoizotop kazaları, radyasyon yayan cihazlar ve nükleer silah saldırıları sonucu oluşur. Kitle imha silahlarının kullanıldığı terörist faaliyetlerin önlenmesi maksadıyla ulusal ve uluslararası alanda iş birliğinin geliştirilmesi ve güçlendirilmesi önemlidir (2, 3).

2. KBRN AJANLARI VE TEHDİDİ

Günümüzde KBRN tehditleri, dünya genelinde ciddi anlamda güvenlik endişeleri arasında yer almaktadır. KBRN silahlarının ofansif amaçlarla kullanımı özellikle son 20 yılda süratle artma eğilimindedir. Burada ajanın kaynaklarının bulunması, farklı alanlarda KBRN ajanını atma sistemlerinin geliştirilmesi, bu ajanları üretebilmeleri, bunları atmaya yönelik plan ve prosedürlere sahip olmaları, o ülkenin kendisi için gerekli koruyucu önlemleri almaları ve ulusal çıkarların bu silahları kullanmaları yönünde olması gibi faktörler, o ülkenin KBRN silah ve kabiliyetini ortaya koymaktadır. Önümüzdeki dönemde özellikle Orta Doğu'dan kaynaklanan risk ve tehditlerin, başta Türkiye olmak üzere, bölge güvenliğini etkilemeye devam etmesi beklenmektedir. Hâlihazırda KBRN silahları birçok gelişmiş ülkenin yanı sıra özellikle totaliter rejimlerle yönetilen ve terörizme destek veren ülkeler tarafından diğer ülkelere karşı güç ve güven gösterisi, konvansiyonel silahlardaki zafiyetlerini dengeleme

unsuru ve bir şantaj silahı olarak üretilmeye, geliştirilmeye ve stoklanmaya devam edilmektedir. Söz konusu ülkeler tarafından bu silahların bölgesel bir savaşta sorumsuzca da kullanılabileceği gerçeği, Ortadoğu'yu dünyanın en yoğun KBRN silahlanma bölgesi haline getirmiştir. Ayrıca, kitle imha silah ve maddeleri ile bu nitelikteki zararlı atıkların, cereyan eden veya edebilecek bölgesel savaşlarda kullanılması, terörist gruplar tarafından da kullanımı, nakliyat ve kaçakçılıktaki kazalar sonucu yayılması, çevredeki nükleer ve kimyasal enerji ve sanayi tesisleri ile araştırma laboratuvarlarındaki kaza ve sızıntılar nedeniyle bölgesel afet etkileri meydana gelmesi olasılıkları ülkemiz açısından potansiyel risk unsurlarıdır (4, 5).

Uluslararası Terörizm açısından ele alındığında; Terörist örgütlerin kitle imha silahları (KİS) ve üretim teknolojilerine sızmaları, bu silahlardan kaynaklanan risk yüzdesini artırmaktadır. Özellikle kimyasal ve biyolojik silahların gelişimiyle ilgili teknolojilere ulaşmanın gün geçtikçe kolaylaşması ses getirici eylem yapmayı planlayan terörist örgütlerin biyolojik ve kimyasal silah kullanmaya karşı ilgilerini artırmaktadır. Kitle imha silahlarının ve diğer zararlı maddelerin bölgesel çatışmalarda hem şu an mevcut olanlarda hem de gelecekte olabileceklerde, kullanılma olasılığı veya terörist gruplar tarafından ele geçirilip kullanılması; bunların taşınması ve kaçakçılığı esnasında yaşanabilecek kazalarla çevreye sızması; ayrıca nükleer ve kimyasal tesisler ile laboratuvarlardaki olası kaza ve dökülmelerin çevresel felaketlere yol açma olasılığı, ülkemiz için ciddi tehlike unsurları arasında yer almaktadır (5, 6).

Bu değerlendirme, çeşitli çatışmalar ve terör saldırıları bağlamında da yapılabilir. Örneğin, 1995 yılında Tokyo metrosunda sinir gazı sarin kullanılarak yapılan terör saldırısı veya 2001 yılında ABD'de meydana gelen antraks saldırıları, biyolojik ve kimyasal silahların kullanıldığı en bilinen olaylara örnek gösterilebilir. Bu durum uluslararası güvenlik, terörizmle mücadele ve silahsızlanma çabaları açısından önemli bir konudur ve uluslararası toplum, bu tür silahların yayılmasını engellemek ve onların kullanımını sınırlamak için çeşitli sözleşmeler ve protokoller hazırlamıştır. Çeşitli yerel ve bölgesel çekişme ve krizler, etnik anlaşmazlıklar, radikal hareketlerin yükselişi ve uluslararası terörizm gibi unsurlar dünya çapında genel güvenliği ve barışı riske atıyor. Ayrıca, KBRN silahlarının saldırganca kullanımı, son otuz yılda artan bir ivme göstermiştir. İlerleyen süreçte, Orta Doğu'daki belirsizliklerin, özellikle Türkiye'nin de içinde bulunduğu bölgesel güvenliği olumsuz etkilemesi muhtemel görünmektedir (7, 8).

Bunun dışında; KBRN ajanlarına bir kaza sonucu maruz kalma riski de bulunmaktadır. Örneğin, Çernobil'deki nükleer felaketin ardından Türkiye'nin özellikle kuzeyinde radyasyonun yayılarak etkili olduğu söylenmektedir. Ülkemize oldukça yakın mesafede, eski model teknolojiye sahip nükleer reaktörler yer almakta; bu reaktörler arasında Bulgaristan'daki

Kozluduy ve Ermenistan'daki Metzamor nükleer santralleri yer almaktadır. Eğer bu santrallerden birinde bir kaza meydana gelirse, bu durumun Türkiye'nin Doğu Anadolu, Karadeniz ve Marmara bölgelerinde radyasyon yayılımına ve buna bağlı radyasyon etkilerine neden olabileceği öngörülmektedir (9, 10).

Bu tehditlerin her biri hem askeri hem de sivil nüfus için ciddi riskler taşımakta ve uluslararası toplumun dikkatini gerektiren konular arasında yer almaktadır. Dünya genelindeki güvenlik politikaları ve önlemleri, bu tür tehditlere karşı etkili bir şekilde mücadele edebilmek için sürekli olarak güncellenmekte ve geliştirilmektedir.

3. KİMYASAL TEHDİT

Bu silahlardan kimyasal silahlar; 20. yüzyılın sonlarına kadar genellikle askeri alanlarda kullanılmış, ancak, Halepçe'de 16 Mart 1988'de, Japonya'da 1994'de Matsumoto şehrinde, 1995 Mart'ında Tokyo metrosuna yapılan sinir gazı saldırıları, dikkatleri bu silahların askeri olabileceği gibi, sivil halk üzerinde ve terörist gruplar tarafından da kullanılabilceği yönüne çevirmiştir. Her iki atakta da yüksek morbidite ve mortalite oluşmuştur. Kimyasal silahlar konusunda, Suriye iç savaşında kimyasal silah kullanımı iddiaları, bu tür silahların hala geçerli tehditler olduğunu göstermektedir. Ayrıca, internetin yaygınlaşmasıyla birlikte, KBRN tehditlerine ilişkin bilginin daha fazla yayılması ve hızlı inovasyon ile iyileştirmenin trendleri, bu tehditlerin tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır (5, 11, 12).

Kimyasal silahlar, fiziksel ve kimyasal özelliklerine, askeri kullanım amacına veya toksik özelliklerine ve etkilerine göre sınıflandırılabilir. Tıbbi amaca en yakın ölçüler içerisindeki sınıflandırma toksik özelliklerine ve etkilerine göre olanıdır:

- Sinir ajanları (Tabun, Sarin, Soman, Vx, Novichok)
- Yakıcı ajanlar (Mustard, Azotlu mustard, Levisit)
- Akciğer iritanları (Fosgen, Difosgen, Klor, Klorpikrin)
- Sistemik zehirler (Hidrojen siyanür, hidrojen klorür, hidrojen sülfür)
- Kapasite bozucu ajanlar (BZ, LSD)
- Kargaşa kontrol ajanları (CN, CS, CR, DM)
- Bitki öldürücü ajanlar (2,4-D-Kakodilik asit) (13).

4. BİYOLOJİK TEHDİT

Bulaşıcılığı yüksek, kolay üretilebilen, aşı ve tedavisi kullanıcı taraf tarafından kolaylıkla kendi yandaşlarına uygulanabilecek hemen hemen tüm mikroorganizmalar biyolojik saldırı

amaçlı kullanılabilirler. Biyolojik silah olarak kullanılacak ajanların başında şarbon, veba, tularemi, bruselloz, çiçek, kolera, glanders, riketsia, botulizm ve viral hemorajik ateş etkenleri gelmektedir. Virüslerin büyük bir kısmı ise, üretilmeleri ve depolanmaları için çok yüksek bir mikrobiyolojik/virolojik teknolojiye gerek olması, atılımlarının zor olması, genellikle dış ortama dayanıksız olmaları, aerosol partikülleri üzerine bindirilmelerinin zor olması, yayılımlarını kontrol etmenin zor olması; bir kısım virüse karşı etkili bir aşı ve tedavi bilinmemesi gibi nedenlerle biyolojik silah olarak kullanılmaları açısından çok uygun değildirler. Biyolojik silahlar farklı olarak, genellikle yara ve çatlak olmadıkça deriye nüfuz etmezler, duyularla varlıkları anlaşılmaz, açık alanda belirlenmeleri oldukça zordur ve zaman alıcıdır, gecikmeli bir etkiye sahiptirler. Ayrıca, bazı biyolojik ajanlar ulusal güvenliği tehdit edecek, kolay yayılacak, insandan insana geçebilecek, ölümcül, sosyal panik ve çöküntüye neden olabilecek ve kamu sağlığının korunması için özel bir güç ve harcama gerektirecek tarzda etki gösterirler. Bu açıdan, biyolojik tehdit, özellikle 11 Eylül 2001 tarihinde gerçekleştirilen terörist saldırılar sonrası daha da artmış, buna karşı gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde girişimler ve tedbirler yoğunlaştırılmıştır (14).

Özellikle COVID-19 pandemisi, KBRN ajanlarından biyolojik tehditlerin ne kadar ciddi sonuçlar doğurabileceğini ve küresel etkilerini gözler önüne sermiştir. Pandemi, hükümetlerin biyogüvenlikle ilgili tehditleri nasıl tahmin edip hazırlık yapacakları konusunda zorlukları da ortaya çıkarmıştır. Biyolojik silahların yayılmasını önleme ve silahsızlanma faaliyetleri de pandemiden etkilenmiştir (15). Biyolojik silahlar, patojenlerin mikrobiyolojik ajanları veya biyolojik ürünler olup, kasıtlı olarak bir insanın, hayvanın, bitkinin veya diğer yaşayan organizmanın zarar görmesi amacıyla üretilir veya kullanılır. Biyolojik ajanlarla meydana getirilen hastalıklar sadece bir halk sağlığı konusu değil, aynı zamanda kullanılan coğrafi alanda büyük bir tehdit oluşturan ulusal ve uluslararası güvenlik problemidir. Biyolojik silahlara bunlarla bulaş olmuş tarım ürünleri, su kaynakları, toprak, hava veya bunların herhangi bir kombinasyonu gibi vasıtalar da dahil edilebilir. Diğer modern KBRN silahları arasında, atom bombaları, denizaltılar, savaş gemileri gibi silahların üretimi ve kullanımı için yüksek bilgi seviyesine sahip bilim insanları ve büyük teknoloji ve yüksek miktarda bütçenin gerekli olmasına rağmen biyolojik silahlar, piyasada kolayca bulunabilecek ekipmanlarla ucuz bir şekilde üretilebilirler. Örneğin, biyolojik silah olarak kullanılan antraks, on medikal personel, küçük bir bina ve 100.000 dolara kadar bir harcama ile elde edilebilir. Tahmini olarak yaklaşık 1.000 kişiye zarar verebilecek bir saldırı; nükleer silahlarla 1.000 birim maliyetle, kimyasal silahlarla 100 birim ve biyolojik silahlarla çok daha az birim maliyetle gerçekleştirilebilir. Biyolojik ajanlardan kaynaklanan salgın ve hastalıklar sadece bir halk sağlığı meselesi değil,

aynı zamanda bahsedilen coğrafi alan üzerinde büyük bir tehdit oluşturarak ulusal güvenlik sorunudur (4, 14, 15).

Bu alanda yaşanan gelişmelerle birlikte çeşitli tedbirler alınmış ve biyolojik silahların üretimi, gelişimi ve stoklanmasını yasaklayan Bakteriyolojik (Biyolojik) ve Toksin Yapılı Silahların Üretimi, Geliştirilmesi ve Stoklanmasının Yasaklanması Sözleşmesi 16 Mart 1971'de Birleşmiş Milletler Genel Kurulunda kabul edilmiştir. Biyolojik silahların üretimi, stoklanması ve kullanımını yasaklayan sözleşmeye 151 ülkenin imza atmasına rağmen, bu silahların üretimi ve stoklanması birçok ülkede gizli olarak sürdürülmektedir. Sözleşme, Washington, Londra ve Moskova'da 1972'de eşzamanlı olarak imzalanmış ve 26 Mart 1975'de yürürlüğe girmiştir. Bugüne kadar sözleşmeyi 183 ülke imzalamış olup, Türkiye sözleşmeyi 6 Ağustos 1974 tarihinde imzalamıştır. Ancak bu anlaşmaya rağmen biyolojik silahların hem üretimi hem de kullanımı devam etmiştir (4, 15).

Biyolojik savaş ajanları, hava, su ve yiyecekleri bulaşık hale getirerek geniş halk kitlelerini etkiler. Yayılım hızı epidemiyolojik olarak çok çeşitli faktöre göre değişir.

Biyolojik silahların kullanım yolları, üç ana başlık altında toplanabilir:

- **Aerosol yoluyla yayılma:** Yüksek patojeniteye sahip biyolojik ajanlar genellikle aerosol aracılığıyla gizlice yayılabilir. Aerosol-yoluyla yayılan ajanlar, diğer yollarla yayılanlara kıyasla daha büyük kitleleri etkiler.
- **Gıda kontaminasyonu:** Biyolojik ajanlar, sular ve bazı gıdalara doğrudan veya dolaylı olarak bulaştırılarak kolayca geniş kitleleri etkileyebilir.
- **Vektör veya böcekler aracılığıyla yayılma:** Bazı ajanlar ve hastalıklar taşıyıcılar aracılığıyla yayılabilir. Biyolojik ajanlar, bulaşmış doğal konaklar ve vektörler aracılığıyla (örneğin sivrisinekler, pireler ve keneler gibi) yayılabilir. Bu yaşayan taşıyıcılar, enfekte hayvanlardan veya yapay olarak bulunan biyolojik ajan kaynaklarından beslenerek enfekte edilebilir ve çoğaltılabilir (16).

Biyolojik Silahlara Karşı Savunma: Bu tür silahları üretmek/depolamak ve kullanmak oldukça ucuza mal olur, ancak korunma/tedavi yöntemleri oldukça pahalı ve zordur. Etkili savunma için iyi eğitilmiş ve çok etkili istihbarat birimleri gereklidir. Ayrıca, çok iyi eğitilmiş ve disiplinli güvenlik güçleri, çok hızlı ve etkin bir şekilde örgütlenen sağlık organizasyonları, sorgulayan ve araştıran tıp personeli ve bilim insanları, barış zamanından itibaren çok yeterli ve etkili sağlık/hastalık istatistiklerine de ihtiyaç vardır (15, 17).

Biyolojik silah perspektifinden Koronavirüs (COVID-19) pandemisini değerlendirecek olursak; 2020 yılının başından itibaren tüm dünyaya yayılan ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak ilan edilen yeni tip koronavirüs (COVID-19), Mayıs 2025 sonuna kadar dünya

genelinde yaklaşık 778 milyon insana ulaştığı ve 7 milyon 95 bine yakın hastanın ölümüne yol açtığı bildirilmiştir (18). Tüm dünyaya yayılmış olmasına rağmen, bu salgının nasıl ortaya çıktığı ve kaynağının ne olduğu halen tartışmalıdır. 30 Aralık 2019'da coronavirus ailesinin yeni bir üyesinin tespit edildiği bildirmiş, 12 Ocak 2020'de, vakalardan alınan örnekler yeni tip coronavirusun tespit edildiğini kesin olarak belirlemiş ve virüsün genetik dizilimlerinin ilk analizi yapılmıştır. Öte yandan, birçok yetkili tarafından bu salgının bir laboratuvar da bilim insanları tarafından üretilmiş bir biyolojik silah olarak üretildiği veya başka bir virüsün genetik yapısının modifikasyonu sonucu sentezlendiği tahmin edildiği açıklanmıştır (15).

Mikrobiyolojik etkenlerin doğal yapısı itibarıyla silah olarak bulunmaları söz konusu değildir. Bu ajanların silah olarak kullanılabilmesi için özel yöntemlere ve taşıyıcılara (vektörlere) ihtiyaç vardır. Bu ajanların geniş halk kitlelerine zarar verebilmesi için, belirlenen alana yayılacak bir taşıyıcı aracılığıyla taşınmaları gerekir. Burada, kesinlikle biyolojik bir silah tarafından, yani ajandan kaynaklanan hedefe yönelik üretilmiş bir biyosilah patojeni olarak ortaya çıkan salgının değerlendirilmesi için ölçüt; biyolojik silahın klinik ve laboratuvar teşhisi, ajanın biyolojik bir silah olarak serbest bırakıldığına dair kanıtların bulunması olarak ifade edilebilir. Ancak ajanın biyolojik bir silah olarak kullanıldığına şüphe uyandıran kriterler de aşağıda belirtilmiştir:

- Biyolojik bir riskin ve tehdidin varlığı,
- Söz konusu biyolojik ajanın belirli özellikleri taşıması ve patojenitesi,
- Biyolojik ajanın kullanıldığı coğrafi dağılıma özgü özellikler,
- Ajanın çevresel koşullarda bulunabilen en yüksek konsantrasyonu,
- Biyolojik ajanın yayılma yollarına dair özellikler,
- Salgının şiddeti, ortaya çıkış zamanına ve dinamiklerine dair özellikler,
- Alışılmadık şekilde, salgının hızlı yayılması,
- Salgının belirli bir nüfusa sınırlı olup olmadığı,
- Klinik semptomlarının özellikleri gibi unsurlar, ajanın biyolojik bir silah olarak kullanılmış olabileceğine ilişkin şüpheleri güçlendiren faktörler olarak gösterilebilir (2,4).

COVID-19 pandemisinin biyolojik silahlar bağlamında değerlendirilmesi, bu ajanın yapay olarak mı yoksa doğal yollarla mı ortaya çıktığına dair sürdürülen tartışmaları akılda tutarak yapılmalıdır. Belli ki, salgının kaynağı ve doğası üzerine tam bir fikir birliğine varılmamıştır ve bu, devam eden araştırma ve soruşturmanın konusu olarak kalacaktır. Ayrıca, biyoteknolojide ve sentetik-organik kimyada beklenen gelişmeler sonucunda laboratuvar

koşullarında üretilen çok çeşitli biyolojik ve kimyasal silahların kullanımı da söz konusudur. Bu kapsamda; daha toksik ve kalıcı silahların kullanılması, daha etkin atma sistemlerinin üretilmesi, daha etkili koruma önlemlerin geliştirilmesi yönündeki çalışmaların önümüzdeki zaman içerisinde artan bir hızla devam etmesi öngörülmektedir (15).

5. RADYOLOJİK-NÜKLEER TEHDİT

Nükleer Tehdit kapsamında; Radyolojik ve Nükleer silahlar ile buna bağlı olarak ortaya çıkan radyasyon tehlikesi ise, gama ışınları, beta ve alfa parçacıkları ile oluşturulur. Radyasyonun canlı organizmalar üzerindeki etkileri büyük ölçüde radyasyonun cinsine ve bunlara maruz kalan canlıya göre değişir. Nükleer silahlar ve dolayısıyla radyasyonun canlı üzerine kısa, orta ve uzun vadeli etkileri; akut radyasyon hastalığı, nörovasküler sendromlar (100-1000Gy), gastrointestinal sendrom (9-100 Gy), hematopoetik sendrom (3-9 Gy), yaşam beklentisinin azalması, kanser gelişimi, katarakt oluşumu, kronik radyodermatit, üreme fonksiyonlarında azalma ve kısırlık ve genetik mutasyonlar şeklinde özetlenebilir. Nükleer silahlar II. Dünya Savaşından bu yana çatışmalarda kullanılsa da bunların varlığı uluslararası ilişkileri, güvenlik politikalarını ve etik tartışmaları şekillendiriyor. 1945 yılında 2nci Dünya Savaşını bitiren Atom Bombasının mirası ve nükleer silahlardaki müteakip gelişmeler, bilimsel ilerlemenin uygarlığı hem koruyabilen hem de tehdit edebilen iki uçlu doğasının altını çiziyor (2,4).

Taktik ve stratejik nükleer silahların varlığı ve konuşlandırılması, silahların kontrolü ve nükleer silahların yayılmasının önlenmesi çabaları açısından önemli zorluklar teşkil etmektedir. Özellikle füze teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte taktik ve stratejik sistemler arasındaki ayırmadaki belirsizlik, silah kontrolü müzakerelerini ve doğrulama mekanizmalarını karmaşık hale getiriyor. Ek olarak, taktik nükleer silahların konuşlandırılması, nükleer eşğin düşürülmesi ve konvansiyonel çatışmalarda nükleerin tırmanması riski konusunda endişeleri artırmaktadır. Stratejik nükleer silahlar, caydırıcılığın merkezinde yer alsa da gereklilikleri ve potansiyel kullanımlarının ahlaki sonuçları konusundaki tartışmalarla birlikte insanlığa varoluşsal tehditler oluşturmaya devam ediyor (19).

Taktik ve stratejik nükleer silahlar, ulusal güvenlik ve askeri strateji çerçevesinde farklı roller üstlenmektedir. Bu iki kategori arasındaki ayrım, bunların uluslararası ilişkiler, caydırıcılık tutumları ve silah kontrolü çabaları üzerindeki etkilerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Küresel toplum nükleer silahların yayılması ve silahsızlanma arayışıyla boğuşmaya devam ederken, taktik ve stratejik nükleer silahlara ilişkin incelikli bir anlayış,

nükleer çatışma risklerini azaltmayı ve küresel güvenliği artırmayı amaçlayan politikaların formüle edilmesi için temel olmaya devam ediyor.

20. yüzyılın ortalarında nükleer silahların ortaya çıkışı, küresel askeri stratejileri ve uluslararası ilişkileri değiştirdi. Nükleer silahların yıkıcı gücü caydırıcı bir etki yaratırken, bunların yayılması, nükleer savaş ve terörizm potansiyeli de dahil olmak üzere küresel güvenlik açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu endişeleri ele alan silahsızlanma çabaları, nükleer silahlanmayı azaltmayı ve sonunda ortadan kaldırmayı, nükleer silahların yayılmasının oluşturduğu tehditleri hafifletmeyi amaçlamaktadır.

6. SONUÇ

KBRN ajanları ve bunların kullanıldığı Kitle İmha Silahları halen dünya genelinde insanlığa, diğer canlılara ve çevreye büyük bir tehdit oluşturmaya ve ulusal ve uluslararası güvenliği zayıflatmaya devam etmektedir.

Uluslararası toplum, bu tehdidin ciddiyetini kabul etmiş ve bu silahların geliştirilmesini, üretimini ve kullanımını sınırlamak için adımlar atmıştır. Bunlardan Kimyasal Silahlar Sözleşmesi (CWC) ve Biyolojik Silahlar Sözleşmesi (BWC) gibi anlaşmalar, yayılmasını önlemeyi ve şeffaflığı teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, devlet dışı aktörlerin bu silahları edinme ve kullanma riski gibi ileri boyutta tehlike de devam etmektedir. Bu açılarından KBRN silahlarının tehlikesini azaltmak için iş birliği ve uluslararası normların etkili bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Kenar L. Dünyada ve Türkiye’de KBRN Tehdidi ve KBRN Olaylarına Genel Yaklaşım. İstanbul Aydın Üniversitesi Yayınları: 1. İstanbul KBRN Günleri Sempozyumu; 2024. P. 18-25, E-ISBN 978-625-7783-98-9.
2. Vural O., Hancı H. Adli KBRN-P. Adalet Yayınevi: Adli Bilimler ve Kriminalistik Ansiklopedisi; 2023. p 281-309, ISBN (Cilt 1): 978-605-264-120-0.
3. Kılıç S. Kimyasal Savaş Ajanlarının Genel Özellikleri, Tarihçesi ve Tehdidi. Türkiye Klinikleri (Ortadoğu Reklam Tanıtım Yayıncılık Turizm Eğitim İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.): Güncel Bilgiler Işığında Kimyasal Savaş Ajanları: Özel sayı; 2023. p 1-6, ISBN: 978-625-395-126-9.

4. Kenar L. Bir NBC atağı karşısında ülkemiz için “Ulusal NBC Savunma ve İlk Yardım Sistemi’nin oluşturulması. Ulusal Tez Merkezi Tez No: 115569; Tıbbi NBC Doktora Tezi; 2002, Ankara.
5. Sezigen, S., Kenar, L., Recent sulfur mustard attacks in Middle East and experience of health professionals. *Toxicol Lett*, 2020 (320): 52-57. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.12.001.
6. Wilson, L., Roffey, P., Lothridge, K., Rowan A., Crispino F. Intersection of CBRN, military forensic science, and counterterrorism. *Forensic Sci Int*, 2024 (364): 112218. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112218>.
7. Tokuda, Y., Kikuchi, M., Takahashi, O. Prehospital management of sarin nerve gas terrorism in urban settings: lessons from the Tokyo subway attack. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2006 (21): 105-110. doi:10.1017/S1049023X00003433.
8. Bleek, PC. Revisiting Aum Shinrikyo: New insights into the most extensive non-state biological weapons program to date. *Nonproliferation Review*. 2011 (18): 303-321. doi:10.1080/10736700.2011.579638.
9. Çelik, N., Çelik, A., Yıldırım, Y. Assessment of radiological impact of the Chernobyl accident on Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. 2017 (175): 345-352. doi:10.1093/rpd/ncw332.
10. Amirkhanov, K., et al. Regional nuclear safety concerns in the South Caucasus: risk assessment of the Armenian Metsamor Nuclear Power Plant. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018 (192): 134-142. doi:10.1016/j.jenvrad.2018.06.012
11. Tucker, JB. War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda. *Journal of Strategic Studies*. 2007 (30): 191-193. doi:10.1080/01402390701237002.
12. Okumura, T., et al. Report on 640 victims of the Tokyo subway sarin attack. *Annals of Emergency Medicine*. 1996 (28):129-135. doi:10.1016/S0196-0644(96)70052-5.
13. Kenar, L. Current Risks of Chemical Warfare and Medical Perspective. *Lokman Hekim Health Sci*. 2025 (5):74–84. DOI: 10.14744/lhhs.2025.47808.
14. Hancı M., Uzan M., Kimyasal ve Biyolojik Savaş Ortamında Tıbbi Yaklaşım. *Nobel Tıp Kitabevleri*, İstanbul: Gün Sıfır-Travmatoloji, 2013, p 461-511, ISBN: 978-605-335-013-2.

15. Karadede Mİ, Ünal BK. COVID-19 Bağlamında Biyolojik Silahlara Bakış. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi; Yayın No: 22: COVID-19 Küresel Salgınına Genel Bakış; 2021. p 294-312, ISBN: 978-605-70737-1-6.
16. Ortatatlı M. Antraks atağında ajanın hızlı deteksiyon ve identifikasyonu için yöntemlerin irdelenerek saptanması. Ulusal Tez Merkezi Tez No: 193999; Tıbbi NBC Doktora Tezi; 2006, Ankara.
17. Kenar, L., Baysallar M. Types of Biological Agents and Medical Countermeasures Against Bioterrorist Attacks. NATO Science for Peace and Security Series - E: Human and Societal Dynamics
Volume 64: Bioterrorism: Threats and Deterrents. (Eds) Selçuk Çankaya, Mustafa Kibaroglu; 2010, p 45 – 57, DOI 10.3233/978-1-60750-501-3-45.
18. <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?m49=001&n=c> (World Health Organization) World health statistics 2025: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. ISBN 978-92-4-011049-6 (electronic version).
19. Kristensen, HM., Korda, M. United States nuclear weapons, 2023. Bulletin of the Atomic Scientists. 2023 (79): p 28-52.
<https://doi.org/10.1080/00963402.2022.2156686>.
20. Ertekin C. Travma. EMA Tıp Kitabevi: Radyasyon Yaralanmaları, 2022, p 735-755, ISBN : 978-625-784-96-6

MİKROSKOBİK SAVAŞLAR: BİYOTERÖRİZM TEHDİDİ

Prof. Dr. Mesut Ortatılı

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Savunma Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Tıbbi Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer (KBRN) Savunma AD.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca savaşlar yalnızca kılıçlar, toplar ve tüfeklerle değil, gözle görülemeyen mikroorganizmalarla da yürütülmüştür. Biyolojik ajanların kasıtlı olarak silah haline getirilmesi, günümüzde hem askeri hem de sivil güvenlik açısından büyük önem arz etmektedir. Biyolojik silahlar; bakteri, virüs, mantar, toksin veya diğer biyolojik materyallerin insanlarda, hayvanlarda ya da bitkilerde hastalık oluşturmak amacıyla kasıtlı olarak kullanılması şeklinde tanımlanmaktadır (1). Bu tanım çerçevesinde biyoterörizm ise devlet dışı aktörler tarafından biyolojik ajanların terör amacıyla sivil hedeflere yönlendirilmesi anlamına gelmektedir. Söz konusu tehdidin ciddiyeti, 20. yüzyıl ve 21. yüzyılın ilk yıllarından itibaren yaşanan olaylarla defalarca kanıtlanmıştır.

Nükleer veya kimyasal bir saldırıda etki anında veya kısa süre içinde ortaya çıkarken, biyolojik bir saldırının sonuçları günler hatta haftalar sonra belirginleşmektedir; bu gecikme süreci, epidemiyolojik araştırmanın başlatılmasını ve kaynağın belirlenmesini önemli ölçüde güçleştirmektedir. Bu süreçte etkilenen bireyler farkında olmadan patojeni başka kişilere de bulaştırabilecektir. Bu özellik, biyolojik silahları hem tespit edilmesi hem de müdahale edilmesi en güç kitle imha silahları arasına yerleştirmektedir. Aynı zamanda sadece kullanıldığı yerde değil, farklı bölgelerde de hastalık/salgın etkisi gösterebilecek, dost – düşman ayrımı yapılamayacaktır (2).

Biyoterörizm tehdidi yalnızca tıbbi bir sorun değil, aynı zamanda ulusal güvenlik, halk sağlığı altyapısı ve uluslararası iş birliği boyutlarını kapsayan çok disiplinli bir meseledir (3). Bu bölümde biyolojik silahların genel özellikleri, tarihsel kullanımları, potansiyel biyoterörizm ajanlarının sınıflandırılması, bir biyolojik saldırının olası sonuçları, uluslararası hukuki çerçeve ve biyoterörizme hazırlık konuları ele alınmıştır. Metnin amacı, hem sağlık profesyonellerinin hem de güvenlik alanında çalışan uzmanların bu tehdidi doğru biçimde kavramalarına ve olağan dışı koşullarda etkin bir müdahale planlaması yapmalarına katkı sağlamaktır.

COVID-19 pandemisi, doğal kaynaklı bir salgının bile sağlık sistemlerini, ekonomileri ve toplumsal düzeni nasıl derinden sarsabileceğini göstermiştir. Kasıtlı olarak yayılan ve yüksek mortaliteye sahip bir biyolojik ajanın yaratacağı etki, doğal bir salgının çok ötesinde olacaktır. Bu gerçeklik, biyoterörizme hazırlığın hem ulusal güvenlik hem de halk sağlığı

politikalarının merkezinde yer alması gerektiğini bir kez daha vurgulamaktadır. Ayrıca küreselleşmenin getirdiği yoğun ve hızlı insan ve malzeme dolaşımı, bir biyolojik ajanın kısa sürede kıtalar arasında yayılabilme riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

2. BİYOLOJİK SİLAHLARIN TARİHSEL ARKA PLANI

Biyolojik ajanların silah olarak kullanımı modern çağa özgü bir olgu değildir. Milattan önce 6. yüzyılda Asurluların düşman su kaynaklarını çavdar mahmuzuyla zehirledikleri, Ortaçağda Moğol ordularının vebadan ölenlerin cesetlerini mancınkla kuşatılmış şehirlere fırlattıkları bilinmektedir (4,5). Kuzey Amerika yerlileri arasında çiçek hastalığı bulaşmış battaniyelerin dağıtılması da sömürge döneminin en bilinen biyolojik savaş örneklerinden birini oluşturmaktadır (6). Ancak biyolojik silahların sistematik olarak geliştirilmesi ve laboratuvar ortamında üretilmesi 20. yüzyılda başlamıştır. Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanya, Müttefik ülkelerin hayvan stoklarını hedef alan sabotaj programları yürütmüştür (7).

İkinci Dünya Savaşı sırasında Japonya'nın 731. Birimi, Mançurya'da savaş esirleri üzerinde şarbon, veba ve kolera gibi ajanlarla insanlık dışı deneyler gerçekleştirmiştir. Soğuk Savaş döneminde ise hem Amerika Birleşik Devletleri (ABD) hem de Sovyetler Birliği kapsamlı biyolojik silah programları yürütmüştür. ABD, 1943-1969 yılları arasında Fort Detrick tesislerinde yoğun bir biyolojik silah araştırma ve geliştirme programı yürütmüş; ancak Başkan Nixon'ın 1969 yılındaki kararnamesiyle ABD'nin ofansif biyolojik silah programı tek taraflı olarak sonlandırılmıştır (8). Sovyetler Birliği ise Biyolojik Silahlar Sözleşmesi (BWC) imzalamış olmasına karşın, gizli programını "Biyopreparat" adı altında genişleterek sürdürmüştür. Sovyet programının boyutları, 1992 yılında Biyopreparat'ın eski müdür yardımcısı Ken Alibek'in (Kanatjan Alibekov) ABD'ye iltica etmesiyle ortaya çıkmıştır. Alibek, Sovyet programının zirve döneminde 60.000'den fazla kişiyi istihdam ettiğini ve şarbon, çiçek hastalığı, veba gibi ajanların silah haline getirildiğini açıklamıştır (9).

2.1 Sverdlovsk Kazası (1979)

Sovyet biyolojik silah programının varlığını doğrulayan en çarpıcı kanıtlardan biri 1979 yılında yaşanan Sverdlovsk (bugünkü Yekaterinburg) olayıdır. Sverdlovsk'taki 19 numaralı tesisten şarbon sporlarının kazara atmosfere salınması sonucunda en az 66 kişi hayatını kaybetmiştir (10). Sovyet yetkililer yıllarca olayı kontamine ete bağlamışlar, ancak Meselson ve arkadaşlarının 1994 yılında yayımladıkları kapsamlı epidemiyolojik çalışma, ölümlerin

tesisten esen rüzgâr yönünde dar bir koridor boyunca dağıldığını ve bunun ancak aerosol salınımıyla açıklanabileceğini ortaya koymuştur (10). Bu olay, bir biyolojik silah kazasının sivil nüfus üzerindeki yıkıcı etkisini gösteren tarihi bir referans noktası olmaya devam etmektedir.

2.2 Aum Shinrikyo (1993-1995)

Japonya merkezli Aum Shinrikyo tarikatı, devlet dışı bir aktörün biyolojik silah kullanma girişiminin en bilinen örneğidir. Tarikat, 1993 yılında Tokyo'da bir binadan *Bacillus anthracis* sporlarını aerosol olarak yaymaya çalışmıştır; ancak kullanılan süşun aşısı süşu (Sterne süşu) olması nedeniyle saldırı başarısız olmuştur. Tarikat ayrıca botulinum toksini ile de birden fazla saldırı girişiminde bulunmuş, bunların hiçbiri etkili olmamıştır. Sonuç olarak Aum Shinrikyo, 1995 yılında Tokyo metrosunda sarin gazı saldırısı gerçekleştirmiş ve 13 kişinin ölümüne, 5.000'den fazla kişinin yaralanmasına neden olmuştur (11). Aum Shinrikyo olayı, biyolojik silah üretiminin belirli bir bilgi ve altyapı eşiği gerektirdiğini ortaya koymuştur; ancak bu eşiğin aşılması olmadı, özellikle mikrobiyoloji eğitimi almış bireylerin dahil olduğu senaryolarda riskin önemli ölçüde arttığı değerlendirilmektedir.

2.3 Amerithrax Olayları (2001)

11 Eylül 2001 saldırılarının hemen ardından ABD'de yaşanan şarbon kontamine mektup olayı, biyoterörizmin somut bir tehdit olduğunu tüm dünyaya kanıtlamıştır. *Bacillus anthracis* sporları içeren mektuplar, medya kuruluşlarına ve ABD Senatosu üyelerine gönderilmiştir. Toplamda 22 kişi enfekte olmuş, bunlardan 5'i inhalasyon şarbonundan hayatını kaybetmiştir (12). Federal Soruşturma Bürosu (FBI), soruşturmayı ABD tarihinin en büyük ve en karmaşık soruşturmalarından biri olarak nitelendirmiştir. Olayda kullanılan sporların son derece yüksek kalitede ve silah düzeyinde işlenmiş olması, biyolojik silah üretiminin ileri düzey bilgi ve teknik altyapı gerektirdiğini bir kez daha ortaya koymuştur. Soruşturma sonucunda şüphelinin ABD hükümetinin biyolojik savunma araştırma programında görev yapan bir mikrobiyolog olduğu belirlenmiştir; bu durum, iç tehdit boyutunun biyogüvenlik politikalarında mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır. Jernigan ve arkadaşları, inhalasyon şarbonunun klinik seyrini ayrıntılı biçimde tanımlayarak erken tanının hayati öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır (12).

2.4 Gruinard Adası ve Çevresel Kalıcılık

Biyolojik ajanların çevresel kalıcılığını gösteren en çarpıcı örnek, İskoçya açıklarındaki Gruinard Adası'dır. İkinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz ordusunun şarbon sporlarıyla açık hava deneyleri yaptığı ada, deneylerden sonra tam 36 yıl boyunca kontamine kalmıştır. Dekontaminasyon çalışmaları 1979-1987 yılları arasında yürütülmüş ve ancak 280 ton formaldehit ile 2.000 ton deniz suyu kullanılarak ada temizlenebilmiştir (13). Bu örnek, *Bacillus anthracis* sporlarının çevresel direncini ve bir biyolojik saldırı sonrasında dekontaminasyonun ne denli zorlu ve maliyetli olabileceğini somut biçimde ortaya koymaktadır.

3. BİYOLOJİK SAVAŞ AJANLARININ (BSA) GENEL ÖZELLİKLERİ

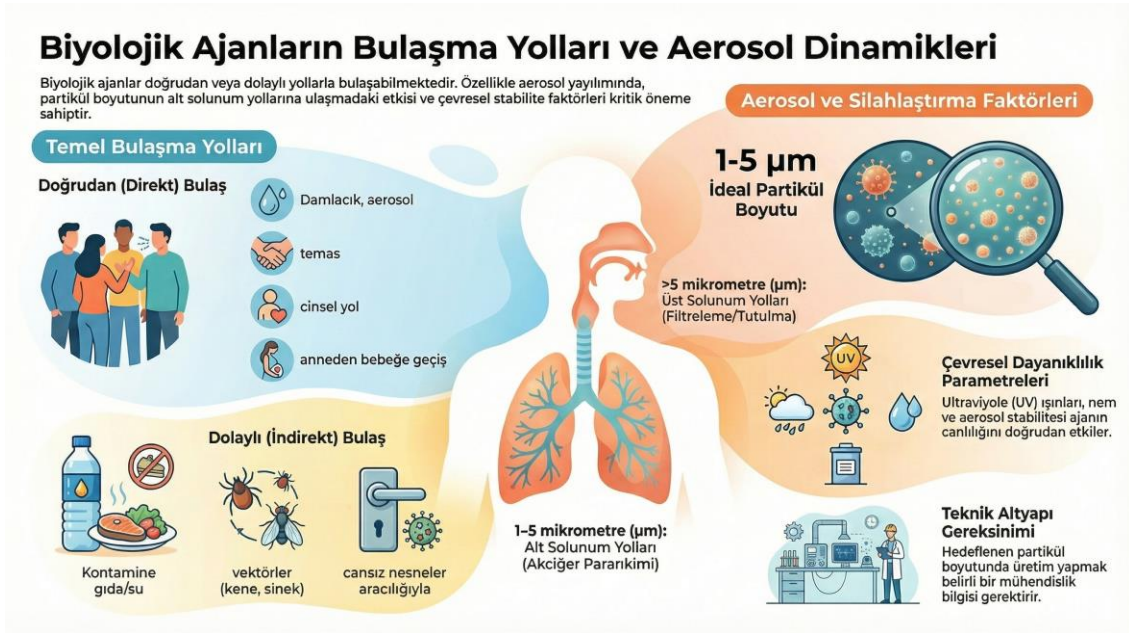
İnsanlarda hastalık oluşturabilecek yaklaşık 1.400 patojen tanımlanmıştır. Bunların dağılımı şu şekildedir: 541 bakteri, 325 mantar, 189 virüs, 285 helmint, 57 protozoa ve 2 prion. Her yıl ortalama 3-4 yeni patojenin tanımlandığı göz önüne alındığında, bu sayının sürekli artış eğiliminde olduğu görülmektedir (14,15). Bu patojenlerin yaklaşık 350 tanesi insanlarda ciddi hastalık tablosu oluşturabilme kapasitesine sahiptir; ancak bunların tamamı silah olarak kullanıma uygun değildir (3).

3.1 Bulaş Yolları

Biyolojik ajanların bulaşması hem doğrudan (direkt) hem de dolaylı (indirekt) yollarla gerçekleşebilmektedir. Doğrudan bulaş yolları arasında damlacık ve aerosol yolla bulaş, cinsel temas, deriden temas, plasenta aracılığıyla vertikal geçiş ve anne sütü ile bulaş sayılabilir. Dolaylı bulaş yolları ise kontamine gıda ve su kaynakları, artropod vektörler (keneler, sivrisinekler, pireler) ve cansız cisimler (fomitler) aracılığıyla gerçekleşir (3,16).

Biyolojik silah olarak kullanımda aerosol yolu özel bir öneme sahiptir. Bu bağlamda partikül boyutu belirleyici bir faktördür: 1-5 mikrometre (μm) çapındaki partiküller alt solunum yollarına kadar ulaşabilirken, 5 μm 'den büyük partiküller üst solunum yollarında tutulur ve akciğer parankimine ulaşamaz. Bu nedenle, biyolojik silah olarak aerosol üretiminde hedef partikül boyutunun 1-5 μm aralığında tutulması gerekmektedir; bu da belirli bir teknik altyapı ve mühendislik bilgisi gerektirmektedir (3,17). Biyolojik ajanların bulaşma yolları ve aerosol boyut dinamikleri ile ilgili özet bilgi Şekil 1'de sunulmuştur. Partikül boyutu dışında, ajanın aerosol stabilitesi, ultraviyole ışınlarına dayanıklılığı ve nem koşullarına karşı canlılığını

koruma kapasitesi de silahlaştırma sürecinde kritik parametreler olarak değerlendirilmektedir (17).



Şekil 1. Biyolojik ajanların bulaşma yolları ve aerosol boyut dinamikleri.

3.2 İdeal Biyolojik Savaş Ajanının Özellikleri

Bir biyolojik ajanın etkili bir silah olarak kullanılabilmesi için belirli özellikleri taşıması gerekmektedir. İdeal bir BSA yüksek bulaşıcılığa sahip olmalı, kolay ve hızlı biçimde üretilmeli, özellikle damlacık ve aerosol yoluyla yayılabilmeli, kısa inkübasyon periyoduna sahip olmalı, çevresel koşullara (ısı, ultraviyole ışınları, nem değişimleri) karşı dirençli olmalı, yüksek morbidite ve mortaliteye neden olmalı, saldırıyı gerçekleştirenin kendini koruyabileceği aşı ve/veya tedavi imkânı bulunmalı ve hedef popülasyonda paniğe yol açabilecek nitelikte olmalıdır (3). Saldırmanın kendi güvenliğini sağlayabilmesi, yani kullandığı ajana karşı etkin bir profilaksi uygulayabilmesi, operasyonel açıdan kritik bir gerekliliktir. Bu özelliklerin tamamını aynı anda taşıyan bir ajan bulmak oldukça güç olsa da, Kategori A ajanlarının büyük çoğunluğu bu kriterlerin önemli bir kısmını karşılamaktadır.

Biyolojik silahların "fakirin atom bombası" olarak adlandırılması, düşük maliyetle son derece yüksek bir etki potansiyeline sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Konvansiyonel veya nükleer silah üretimiyle kıyaslandığında, biyolojik ajanların üretimi çok daha az kaynak ve altyapı gerektirmektedir. Bu durum, biyolojik silahları özellikle devlet dışı aktörler ve terör örgütleri açısından cazip kılmaktadır. Bir km^2 'lik alanda konvansiyonel silahla 100-1.000 kişi

öldürülebilirken, biyolojik ajanlarla bu sayı 100.000'in üzerine çıkabilmektedir. Bu karşılaştırma, biyolojik silahların kitle imha potansiyelini somut verilerle ortaya koymaktadır. Üstelik üretim için gerekli hammaddeler ve ekipmanlar, çoğu durumda ikili kullanımlı (*dual-use*) nitelikte olup meşru araştırma amaçlarıyla da kullanıldığından, ihracat kontrollerinin uygulanmasını ve istihbarat takibini zorlaştırmaktadır (18,19).

4. BİYOLOJİK SİLAH AJANLARININ SINIFLANDIRILMASI

Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (Centers for Disease Control and Prevention, CDC), biyolojik silah olarak kullanılacak ajanları tehdit düzeylerine göre üç kategoride sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma, halk sağlığı hazırlık planlamasında temel referans olarak kabul edilmektedir. Sınıflandırmada ajanlar; yayılma kolaylığı, mortalite oranı, halk sağlığı etkisi, toplumsal panik oluşturma potansiyeli ve özel müdahale gereksinimleri gibi kriterlere göre kategorilere ayrılmaktadır (20).

Tablo 1. Biyolojik savaş ajanlarının CDC sınıflandırması (20).

Kategori A	Kategori B	Kategori C
Kolayca yayılabilir veya kişiden kişiye aktarılabilir; yüksek ölüm oranı ve büyük halk sağlığı etkisi; genel paniğe ve sosyal kargaşaya neden olabilir; halk sağlığı hazırlığı için özel eylem gerektirir.	Yayılması orta derecede kolay; orta düzey morbidite ve düşük mortalite; özel teşhis kapasitesi ve gelişmiş hastalık sürveyansı gerektirir.	Gelecekte kitlesel yayılma için tasarlanabilecek yeni ortaya çıkan patojenleri içerir; yüksek morbidite ve mortalite potansiyeli; üretim ve dağıtım için özel teknoloji gerektirir.
Antraks (<i>Bacillus anthracis</i>)	Bruselloz (<i>Brucella</i> spp.)	Hantavirüsler
Botulismus (<i>Clostridium botulinum</i> toksini)	Epsilon toksini (<i>Clostridium perfringens</i>)	Çoklu dirençli tüberküloz
Vebe (<i>Yersinia pestis</i>)	Ruam (<i>Burkholderia mallei</i>)	Nipah virüsü
Çiçek hastalığı (<i>Variola major</i>)	Q ateşi (<i>Coxiella burnetii</i>)	Kene kaynaklı ensefalit virüsleri
Tularemi (<i>Francisella tularensis</i>)	Risin toksini (<i>Ricinus communis</i>)	Kene kaynaklı hemorajik ateş virüsleri
Viral hemorajik ateşler (Ebola, Marburg)	Stafilokok enterotoksin B	Sarı humma virüsü

4.1 Kategori A Ajanlarının Klinik Özellikleri

Antraks (Şarbon): *Bacillus anthracis* tarafından oluşturulan şarbon, klinik olarak üç formda karşımıza çıkmaktadır: kutanöz (deri), gastrointestinal ve inhalasyon şarbonu. Biyolojik silah olarak en tehlikeli form inhalasyon şarbonudur. Tedavi edilmediğinde mortalite oranı %85-90'ın üzerine çıkmaktadır. İnhalasyon şarbonunun klinik seyri tipik olarak iki fazlıdır: ilk fazda grip benzeri nonspesifik semptomlar (ateş, öksürük, halsizlik, miyalji) görülürken, 2-3 gün içinde genel durumda ani bozulma ile mediastinal genişleme, hemorajik mediastinit, septisemi ve şok gelişmektedir (2,3). *Bacillus anthracis* sporlarının olağanüstü çevresel direnci bu ajanı özellikle tehlikeli kılmaktadır; sporlar toprakta onlarca yıl canlılığını koruyabilmektedir. Inglesby ve arkadaşları, şarbonun biyolojik silah olarak kullanımını kapsamlı biçimde değerlendirdikleri derlemelerinde, erken antibiyotik tedavisinin sağkalımı önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir (2).

Çiçek Hastalığı: *Variola major* virüsünün neden olduğu çiçek hastalığı, 1980 yılında DSÖ tarafından eradike edildiği ilan edilmiş olmasına karşın, biyoterörizm açısından en fazla endişe yaratan ajanlardan biri olmaya devam etmektedir. Virüsün resmi olarak yalnızca ABD ve Rusya'daki iki laboratuvarında muhafaza edilmesine rağmen, yasadışı stokların varlığı konusundaki belirsizlik büyük bir kaygı kaynağıdır (3,21). Çiçek hastalığının mortalite oranı %30 civarındadır ve 1980 sonrasında doğan nesil bağışıklıktan yoksundur. Kişiden kişiye yüksek bulaşıcılık, uzun inkübasyon dönemi (7-17 gün) ve tedavi seçeneklerinin sınırlılığı, bu ajanı potansiyel bir biyolojik silah olarak ön plana çıkarmaktadır. Çiçek hastalığı eradike edildikten sonra aşılama programlarının durdurulmuş olması, küresel popülasyonun bu virüse karşı bağışıklık düzeyini önemli ölçüde düşürmüştür (21,22).

Veba: *Yersinia pestis* tarafından oluşturulan veba, bubonik, septisemik ve pnömonik formlarda görülmektedir. Biyolojik silah olarak pnömonik form en büyük tehlikeyi oluşturmaktadır; çünkü kişiden kişiye damlacık yoluyla hızla yayılabilmektedir. Tedavi edilmediğinde pnömonik vebanın mortalite oranı %100'e yaklaşmaktadır. İnkübasyon süresi 1-6 gün arasındadır ve semptom başlangıcından itibaren 24 saat içinde antibiyotik tedavisine başlanması sağkalım açısından hayati öneme sahiptir. Gecikmeli tedavide ise mortalite oranı dramatik biçimde yükselmektedir (23,24). Vebanın tarih boyunca milyonlarca insanın ölümüne neden olması, bu ajanın toplumsal hafızadaki yerini ve psikolojik etki potansiyelini artırmaktadır.

Botulismus: *Clostridium botulinum* tarafından üretilen botulinum toksini, bilinen en güçlü biyolojik toksinlerden biridir. Bir gram kristalize toksin, teorik olarak bir milyon insanı

öldürebilecek potansiyele sahiptir. Toksin, nöromüsküler kavşakta asetilkolin salınımını bloke ederek ilerleyici flask paralizi oluşturur. Solunum kaslarının tutulumu ile ölüm meydana gelebilir. Su veya gıda kaynaklarının kontaminasyonu yoluyla kitlesel bir saldırıda kullanılma riski ciddi bir tehdit olarak değerlendirilmektedir (3,25).

4.2 Kategori B Ajanlarının Klinik Özellikleri

Kategori B ajanları daha düşük mortalite oranlarına sahip olmakla birlikte, geniş toplulukları etkileme potansiyeli taşımaktadır. **Bruselloz**, *Brucella* türlerinin neden olduğu, insanlara kontamine hayvansal ürünler veya aerosol yoluyla bulaşabilen sistemik bir enfeksiyondur. Kronik seyir gösterebilmesi ve nonspesifik semptomları nedeniyle tanısı güçtür. **Q ateşi**, *Coxiella burnetii* tarafından oluşturulur ve son derece düşük enfektif doz (tek bir organizma bile enfeksiyona yol açabilir) ile karakterizedir. Bu özellik, Q ateşi etkenini biyolojik silah olarak potansiyel bir aday haline getirmektedir (3,24). **Risin toksini**, hint yağı bitkisinden (*Ricinus communis*) elde edilebilen güçlü bir sitotoksindir; antidotu bulunmamaktadır ve üretimi görece kolaydır (26).

4.3 Kategori C Ajanları ve Gelecek Tehditleri

Kategori C, günümüzde doğrudan tehdit oluşturmamakla birlikte gelecekte biyolojik silah olarak tasarlanabilecek yeni ortaya çıkan patojenleri kapsamaktadır. **Nipah virüsü**, %40-75 arasında mortalite oranına sahip bir paramiksovirüstür ve henüz onaylanmış bir aşısı veya spesifik tedavisi bulunmamaktadır (27). **Hantavirüsler**, kemirgen kaynaklı zoonotik virüslerdir ve hemorajik ateş ile renal sendrom (HARS) veya hantavirüs kardiyopulmoner sendromuna neden olabilirler (27). Sentetik biyoloji ve gen düzenleme teknolojilerindeki ilerlemeler, bu kategorideki tehditlerin gelecekte artabileceğine işaret etmektedir. Çoklu ilaca dirençli tüberküloz (*Multidrug-Resistant Tuberculosis*, MDR-TB) de özellikle uzun tedavi süreci (en az 18-24 ay), yüksek bulaşıcılık, sınırlı tedavi seçenekleri ve yüksek mortalite oranı nedeniyle potansiyel bir biyoterörizm ajanı olarak değerlendirilmektedir (22). Sentetik biyoloji araçlarıyla mevcut patojenlerin daha virülan veya dirençli hale getirilme olasılığı, Kategori C tehditlerine ilişkin endişeleri artırmaktadır.

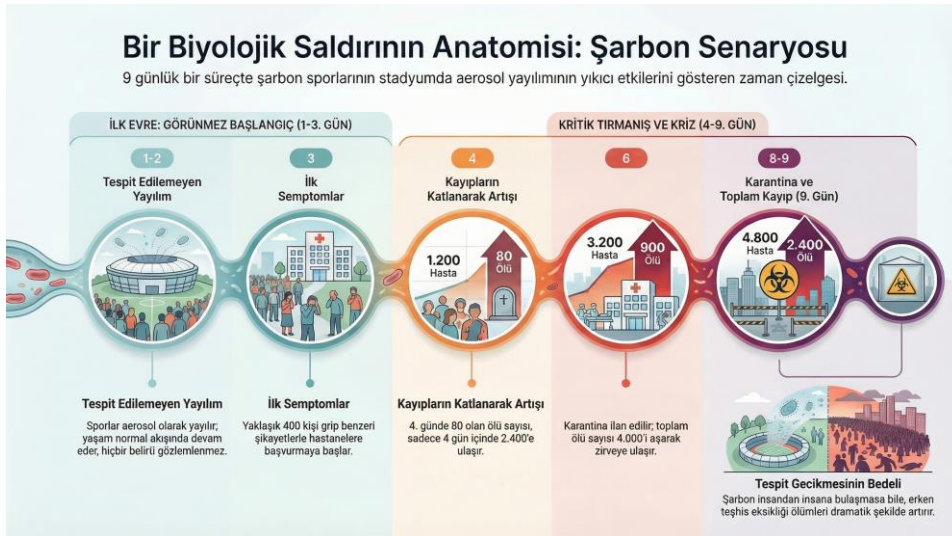
5. BİYOTERÖRİZM: HEDEFLER, YÖNTEMLER VE SONUÇLAR

Biyoterörizm saldırılarının potansiyel hedefleri arasında devlet daireleri, askeri kuruluşlar, ulaşım terminalleri, iş merkezleri, kapalı alışveriş merkezleri, su arıtma tesisleri, akaryakıt depolama tesisleri, büyükelçilikler, uluslararası toplantılar ve spor müsabakaları yer almaktadır. Bu hedeflerin ortak özelliği, yoğun insan trafiğine sahip olmaları ve bir saldırının hem fiziksel hem de psikolojik etkisini en üst düzeye çıkarabilecek potansiyel taşımalarıdır. Özellikle kapalı ve havalandırma sistemi bulunan mekânlar, aerosol yoluyla gerçekleştirilecek bir saldırı için en uygun ortamları oluşturmaktadır; çünkü havalandırma kanalları aracılığıyla patojenin geniş bir alana yayılması mümkün olmaktadır (8,24).

Biyolojik saldırılar genellikle iki temel yöntemle gerçekleştirilmektedir: büyük ölçekli aerosol salınımı veya su ve gıda kaynaklarının kontaminasyonu. Her iki yöntemin de ortak ve en tehlikeli özelliği sessiz, görünmez ve kokusuz olmalarıdır. Bir biyolojik saldırının ilk bulguları günler hatta haftalar sonra ortaya çıkabilir; bu durum, saldırının zamanında tespit edilmesini ve etkili müdahale yapılmasını son derece zorlaştırmaktadır. Bir kimyasal veya radyolojik saldırı anında ya da kısa sürede fark edilebilirken, biyolojik bir saldırının tespiti çoğunlukla süreyans verilerindeki olağandışı hasta kümelenmesinin epidemiyologlar tarafından fark edilmesine bağlıdır (17,24).

5.1 Bir Biyolojik Saldırı Senaryosu: Independent Gazetesi Antraks Modeli

Bir biyolojik saldırının zaman içindeki gelişimini somutlaştırmak amacıyla, İngiliz Independent gazetesinin yayımladığı hipotetik antraks senaryosu oldukça öğreticidir. Şekil 2’de gösterilen bu senaryoda bir stadyuma *Bacillus anthracis* sporları yayılmaktadır (28):



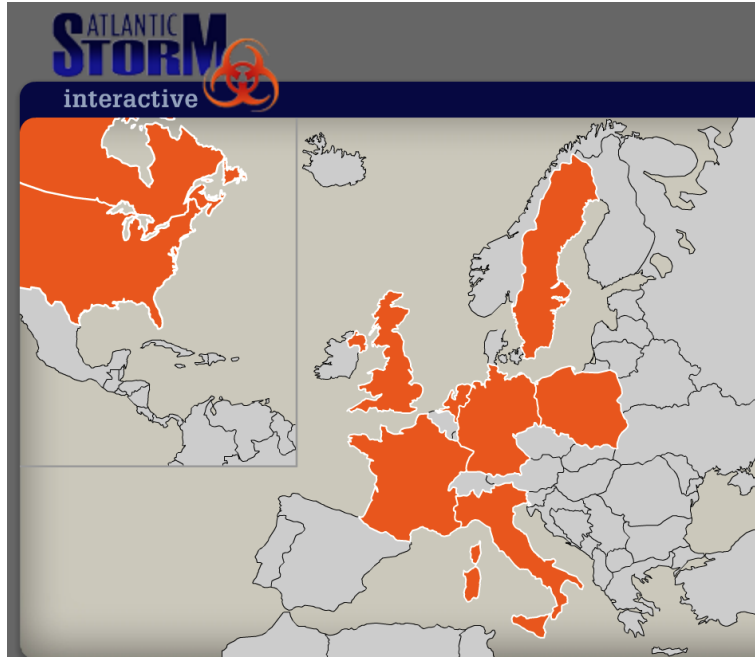
Şekil 2. Şarbon sporlarının stadyumda aerosol salınımı sonrası senaryonun zaman çizelgesi.

- **1. Gün:** Sporlar stadyumdaki kalabalığa aerosol olarak yayılır; herhangi bir belirti gözlemlenmez.
- **2. Gün:** Hiçbir olağandışı durum fark edilmez; yaşam normal akışında devam eder.
- **3. Gün:** Yaklaşık 400 kişi grip benzeri semptomlarla sağlık kuruluşlarına başvurur. Son zamanlarda grip vakaları artmış olduğundan, doktorlar herhangi bir şeyden şüphelenmez ve hastalarına yatak istirahati ve bol sıvı alması talimatıyla evlerine gönderir.
- **4. Gün:** Bazı hastalar normal bir grip salgınına göre daha hasta görünmektedir ve ilk testler yapılır. Testlerde bir basil formunda bakteri tespit edilir, fakat bazı basil türleri nispeten zararsız olduğundan bu durum büyük bir endişe yaratmaz. Ancak hastalar ölmeye başlar ve Günün sonunda hasta sayısı 1.200'e ulaşır; 80 kişi hayatını kaybeder.
- **5. Gün:** Hasta sayısı ikiye katlanır ve doktorlar, hastalığın yayılmasını yavaşlatmak için etkilenenlerin izole edilmesini önerir. Futbol stadyumu salgının merkezi olarak tespit edilir. Şarbondan şüphelenilir ve teşhis edilir. Antibiyotik tedavileri başlanır, ancak bunların enfeksiyonun erken aşamalarında verilmesi gerekir. Aşı stokları da sınırlıdır ve 2.700 kişi hastalanmış; 300 kişi ölmüştür.
- **6. Gün:** Antibiyotikler tükenir. Medyanın, antibiyotiklerin adaletsiz dağıtıldığına dair haberleri halk ayaklanmalara yol açar. Doktorlar tüm hastaların maçta olmadığını, bazılarının yakınlarda yaşadığını fark eder ve maç gününün hava durumu incelemesi, rüzgarın estiği yönde sekiz mil mesafede yaşayanların risk altında olduğunu gösterir. Panik artar. Hastanelerde yatak kalmadığı için hastalar spor salonları ve barınaklar alınır. 3.200 kişi hastalanmış; 900 kişi ölmüştür.
- **7. Gün:** Daha fazla antibiyotik geliyor. Yetkililer, tüm ölenlerin yakılması gerektiğini duyuruyor. Panik artıyor. Şarbonun insandan insana bulaşıcı olmadığını anlatılmasına rağmen otobüs ve tren sürücüleri şehre girmeyi reddedince şehir durma noktasına geliyor. 4.000 kişi hastalandı; 1.600 kişi öldü.
- **8. Gün:** Toplu taşıma neredeyse tamamen duruyor ve şehir neredeyse felç oluyor, okullar kapatılıyor. Birçok doktor ve hemşire hastalanınca sağlık hizmetleri çöküyor. 4.800 kişi hastalandı; 2.400 kişi öldü.
- **9. Gün:** Karantina ilan edilir; şarbon insandan insana bulaşmadığı için hastalananların sayısı bundan sonra artmıyor, ancak ölü sayısı 4.000'e kadar yükseliyor. Stadyumun rüzgar altı bölgesi, aileler ve işletmeler tarafından terk edilerek “Ölü Bölge” olarak anılmaya başlıyor.

Bu senaryo, biyolojik bir saldırının ilk günlerde fark edilmesinin ne denli güç olduğunu ve müdahalenin gecikmesi durumunda ölüm sayısının katlanarak artacağını açıkça ortaya koymaktadır. Üstelik şarbon insandan insana bulaşmayan bir hastalık olmasına karşın, bu boyutta kayıplara yol açabilmektedir. Kişiden kişiye bulaşan bir ajanla (örneğin çiçek hastalığı veya pnömonik veba) gerçekleştirilecek bir saldırının sonuçları çok daha yıkıcı olabilir.

5.2 Atlantik Fırtınası Tatbikatı (2005)

Biyoterörizm senaryolarının en kapsamlı biçimde test edildiği çalışmalardan biri, 2005 yılında Johns Hopkins Sağlık Güvenliği Merkezi (*Center for Health Security*) tarafından düzenlenen Atlantik Fırtınası (*Atlantic Storm*) tatbikatıdır (29). Kurgusal bir senaryoya dayanan bu eğitim amaçlı masa başı tatbikatına katılan devletler ve temsil eden yetkililer Şekil 3 ve Tablo 3'te verilmiştir. Bu tatbikatta ABD ve Avrupa'nın sekiz önemli kentine eş zamanlı biyolojik saldırı senaryosu simüle edilmiştir. Senaryoya göre çiçek hastalığı etkeni (*Variola major*) açık alanlarda havaya bırakılmış ve milyonlarca kişi etkilenmiştir.



Şekil 3. Atlantik Fırtınasına tatbikatına katılan devletler.

Tablo 3. Atlantik Fırtınası tatbikatında görev alan devlet yetkilileri.

Temsil Edilen Devlet ve Görevi	Adı Soyadı ve Daha Önce Görev Yaptığı Makam
Kanada Başbakanı	Barbara McDougall, Kanada eski Dışişleri Bakanı
Avrupa Komisyonu Başkanı	Erika Mann, Avrupa Parlamentosu Üyesi
Almanya Başbakanı	Werner Hoyer, Almanya eski Dışişleri Bakan Yardımcısı
Fransa Cumhurbaşkanı	Bernard Kouchner, Fransa eski Sağlık Bakanı
İtalya Başbakanı	Stefano Silvestri, Instituto Affari Internazionale Başkanı ve İtalya eski Savunma Bakan Yardımcısı
Hollanda Başbakanı	Klaas de Vries, Hollanda eski İçişleri Bakanı
Polonya Başbakanı	Jerzy Buzek, Polonya eski Başbakanı
İsveç Başbakanı	Jan Eliasson, İsveç eski Dışişleri Bakan Yardımcısı
Amerika Birleşik Devletleri Başkanı	Madeleine Albright, ABD eski Dışişleri Bakanı
İngiltere Başbakanı	Sir Nigel Broomfield, İngiltere'nin Almanya eski Büyükelçisi
DSÖ (WHO) Genel Müdürü	Gro Harlem Brundtland, Norveç eski Başbakanı ve DSÖ eski Genel Direktörü
Zirve Yürütme Sekreteri	Eric Chavellier, Paris Siyasi Çalışmalar Enstitüsü ve Fransız Ulusal Yönetim Okulu Profesörü

Tatbikatın özellikle dikkat çekici yönlerinden biri İstanbul boyutudur. Senaryoda İstanbul'da bir pazar yerinde saldırı gerçekleştirilmiş, ancak Türk hükümetinin nüfusunun yalnızca %1'ini aşılayabilecek çiçek aşısı stokuna sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (NATO) aracılığıyla uluslararası yardım talep etmesi, siyasi çıkar çatışmaları nedeniyle sonuçsuz kalmıştır. ABD kendi nüfusunu öncelemiş, Avrupa ülkeleri kendi aşı stoklarını paylaşma konusunda isteksiz davranmış ve hastaneler hızla kapasitelerinin üzerine çıkmıştır. Dünya liderleri sorumluluğu DSÖ'ye devretmeye çalışmış, ancak İstanbul için alınan önlemler yetersiz kalmıştır.

Bu tatbikat, biyolojik bir saldırı durumunda uluslararası iş birliği mekanizmalarının ne denli kırılgan olabileceğini ve ulusal hazırlığın hayati önem taşıdığını açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca siyasi karar alma süreçlerinin hız gerektiren sağlık krizlerinde ciddi bir darboğaz oluşturabildiği açıkça görülmüştür.

5.3 Dark Winter Tatbikatı (2001)

Atlantik Fırtınası'ndan dört yıl önce, Haziran 2001'de gerçekleştirilen Dark Winter tatbikatı da kritik bir referans noktası oluşturmaktadır. O'Toole, Mair ve Inglesby tarafından

ayrıntılı biçimde analiz edilen bu tatbikatta, ABD'nin Oklahoma City, Philadelphia ve Atlanta şehirlerine eş zamanlı çiçek virüsü saldırısı senaryosu uygulanmıştır (30). Tatbikat, mevcut aşı stoklarının yetersizliğini, sağlık altyapısının kısa sürede çökeceğini ve federal ile eyalet yönetimleri arasındaki koordinasyon eksikliklerini dramatik biçimde ortaya koymuştur. Dark Winter tatbikatının sonuçları, ABD'nin biyoterörizme hazırlık politikalarının köklü biçimde gözden geçirilmesine vesile olmuştur. Tatbikatın zamanlaması da son derece anlamlıdır: Eylül 2001'deki antraks mektupları olayından yalnızca üç ay önce gerçekleştirilmiştir. Dark Winter'ın ortaya koyduğu en önemli bulgu, sınırlı aşı stoğunun kimin öncelikli olarak aşılacağı sorusunu gündeme getirmesi ve bu sorunun tıbbi olmaktan çok etik ve siyasi bir karara dönüşmesidir. Tatbikatta aşı dağıtımı konusunda federal ve eyalet yönetimleri arasında ciddi görüş ayrılıkları yaşanmış, karantina uygulamalarının anayasal haklar ile çatışması tartışılmış ve bireysel özgürlükler ile kamu sağlığı arasındaki denge sorgulanmıştır.

5.4 Biyolojik Saldırının Toplumsal Sonuçları

Bir biyolojik saldırının sonuçları yalnızca tıbbi kayıplarla sınırlı kalmamaktadır. Bu sonuçlar şu şekilde özetlenebilir: toplu ölüm ve yaralanmalar, acil yardım sistemlerinin kapasitesinin aşılması, günlük yaşamın alt üst olması, toplumda yaygın panik ve şaşkınlık hâli yaşanması ve kritik altyapı tesislerinin kapatılması. Biyolojik saldırıların psikolojik etkisi, fiziksel etkisinden çoğu zaman daha geniş kapsamlıdır. Saldırının görünmez doğası, toplumda güvensizlik, korku ve sosyal kargaşa yaratma potansiyeli taşımaktadır (31,32). Medyanın olayı aktarma biçimi, sosyal medyadaki bilgi kirliliği ve yanlış bilgilendirme, toplumsal paniği katlanarak artırabilmektedir. Sağlık kuruluşlarına asıl hastaların yanı sıra endişeli sağlıklı bireylerin akın etmesi, zaten yetersiz olan kapasitenin daha da üzerinde yüklenme yaratmaktadır. Bu nedenle biyolojik silahlar, terör örgütleri açısından hem fiziksel zarar hem de psikolojik yıkım aracı olarak stratejik bir değer taşımaktadır (31,32). Bir biyolojik saldırının ekonomik maliyeti de göz ardı edilemez: üretim kayıpları, ticaretin durması, dekontaminasyon giderleri ve uzun süreli sağlık harcamaları, etkilenen bölgenin ekonomisini yıllarca olumsuz etkileyebilmektedir (3,33).

6. ULUSLARARASI HUKUKİ ÇERÇEVE

Biyolojik silahların geliştirilmesi, üretimi ve depolanmasının yasaklanmasına yönelik uluslararası hukuki çerçevenin temel taşı 1972 tarihli Biyolojik Silahlar Sözleşmesi (Biological Weapons Convention, BWC) oluşturmaktadır. BWC, 1925 tarihli Cenevre Protokolü'nün (ki sadece biyolojik ve kimyasal silahların savaşta kullanımını yasaklamıştı) ötesine geçerek; bu silahların geliştirilmesini, üretilmesini, stoklanmasını ve transfer edilmesini tümüyle yasaklayan ilk uluslararası silahsızlanma antlaşmasıdır (21). Sözleşme 1975 yılında yürürlüğe girmiş olup bugüne kadar 180'den fazla devlet tarafından onaylanmıştır. Türkiye 1974 yılında sözleşmeyi imzalamıştır (34). Ancak BWC'nin en zayıf noktası, Kimyasal Silahlar Sözleşmesi (CWC) gibi güçlü ve yasal bağlayıcılığı olan bir denetim mekanizmasına sahip olmamasıdır. CWC, Kimyasal Silahların Yasaklanması Örgütü (OPCW) gibi uluslararası, daimi bir teşkilata ve rutin denetim gücüne sahipken; BWC'nin uygulanmasını ve denetimini sağlayacak bir organizasyon baştan kurulmamıştır (21).

Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi'nin 2004 yılında kabul ettiği 1540 sayılı karar (BMGK 1540), kitle imha silahlarının devlet dışı aktörlere yayılmasının önlenmesini amaçlamaktadır. Bu karar, tüm BM üye devletlerine biyolojik, kimyasal ve nükleer silahların yayılmasını engellemek için iç hukuk düzenlemeleri yapma ve ihracat kontrol mekanizmaları oluşturma yükümlülüğü getirmiştir. BMGK 1540, özellikle biyoterörizm tehdidi bağlamında büyük önem arz etmektedir; çünkü devlet dışı aktörlerin biyolojik ajanlara erişimini kısıtlamayı hedeflemektedir (35).

Avustralya Grubu (*Australia Group*), biyolojik ve kimyasal silah üretiminde kullanılacak malzeme ve teknolojilerin ihracat kontrolünü koordine eden çok uluslu bir mekanizmadır. Grup, düzenli olarak güncellenen kontrol listeleri aracılığıyla ikili kullanımlı (*dual-use*) maddelerin terör örgütlerinin eline geçmesini engellemeyi amaçlamaktadır (36).

Bu uluslararası çerçeveye karşın, biyolojik silahların tamamen ortadan kaldırıldığını söylemek mümkün değildir. Sentetik biyoloji, gen düzenleme (CRISPR-Cas9 teknolojisi) ve yapay zekâ destekli ilaç tasarımı gibi ilerleyen teknolojiler, hem savunma kapasitesini artırma hem de tehdit yelpazesini genişletme potansiyeline sahiptir (37). Bu ikili kullanım (*dual-use*) sorunu, uluslararası toplumun biyogüvenlik alanında yeni düzenleyici çerçeveler geliştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknolojilerinin maliyetinin düşmesi ve yaygınlaşması, daha önce yalnızca devlet programlarının erişebildiği kapasitelerin küçük gruplar tarafından bile elde edilebilir hale gelmesi riskini doğurmuştur (38).

Bu gelişme, biyogüvenlik politikalarının bilimsel ilerlemeyle eş zamanlı olarak güncellenmesi zorunluluğunu beraberinde getirmektedir.

7. BİYOTERÖRİZME HAZIRLIK VE MÜDAHALE

Biyoterörizme etkin biçimde hazırlanmak, çok katmanlı ve çok disiplinli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu hazırlığın temelinde iki kritik bileşen yer almaktadır; birincisi tanıma kapasitesi, ikincisi ise müdahale kapasitesi.

7.1 Tanıma: Sağlık Personelinin Eğitimi

Bir biyolojik saldırının erken aşamada tanınması, sağlık personelinin sıra dışı hastalık tablolarını fark edebilme yetkinliğine bağlıdır. Kullanıldıklarında görünmez, kokusuz ve tatsız olmaları; kuluçka süresi nedeniyle hemen belirgin semptomlara yol açmamaları; bunun sonucunda salgının kaynağına ilişkin belirsizlik; ve o bölgede doğal bir salgının meydana gelmiş olma olasılığı gibi faktörler, salgının nedeninin doğal kaynaklı mı yoksa biyolojik bir silahla mı bağlantılı olduğunu ayırt etmeyi önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bir salgın meydana geldiğinde, epidemiyolojik araştırmalar derhal başlatılmalıdır. Güçlü bir sürveyans sistemi ile, gelişmekte olan salgının o bölgeye özgü olup olmadığını değerlendirmek çoğu kez mümkün olabilmektedir (3).

Antraks mektupları olayında, ilk vakaları değerlendiren klinisyenlerin inhalasyon şarbonunu tanıma konusundaki deneyimsizlikleri, tanıda gecikmeye yol açmıştır (12). Bu nedenle birinci basamak sağlık çalışanlarından acil tıp uzmanlarına, enfeksiyon hastalıkları uzmanlarından halk sağlığı uzmanlarına kadar geniş bir yelpazede sürekli eğitim programlarının uygulanması hayati öneme sahiptir. Eğitim programlarının kapsaması gereken konular arasında Kategori A ajanlarının klinik tanınması, olağandışı hasta kümelenmelerinin (küme analizi) değerlendirilmesi, epidemiyolojik sürveyans ilkeleri, numune alma ve laboratuvara güvenli taşıma prosedürleri, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve biyolojik dekontaminasyon yöntemleri yer almalıdır. Senaryo bazlı tatbikatlar ve masa başı tatbikatları (*tabletop exercises*), sağlık personelinin gerçek bir olay anında nasıl tepki vereceğini test etmek için kritik araçlardır. Amerithrax olaylarından çıkarılan en önemli derslerden biri; sağlık çalışanlarının, özellikle de doktor ve hemşirelerin biyolojik ajanların kullanımından kaynaklanabilecek hastalıkların klinik yönleri konusunda eğitime ihtiyacının olduğudur (39).

7.2 Müdahale: Kurumsal Kapasite

Ulusal ve bölgesel sağlık kuruluşlarının biyolojik bir saldırıya hazırlıklı olması, yeterli laboratuvar kapasitesi, ilaç ve aşı stoğu, izolasyon imkânları ve koordineli bir müdahale planının varlığına bağlıdır. ABD'de CDC bünyesindeki Stratejik Ulusal Stok (Strategic National Stockpile, SNS) sistemi, biyolojik saldırı durumunda 12 saat içinde etkilenen bölgeye antibiyotik, antitoksin ve koruyucu ekipman sevk edebilecek kapasitede tasarlanmıştır. Avrupa Birliği bünyesinde ise Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi (*European Centre for Disease Prevention and Control*, ECDC) benzer bir koordinasyon işlevi üstlenmektedir. Ülkemizde ise Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) kapsamında KBRN kazalar veya olaylarına yönelik ulusal düzeyde planların hazırlanması ve yönetilmesi Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) koordinesinde gerçekleştirilmektedir (40). Sürveyans sistemlerinin dijitalleştirilmesi ve yapay zekâ destekli erken uyarı algoritmalarının geliştirilmesi, olağandışı hastalık örüntülerinin hızla saptanmasını mümkün kılacak yeni nesil izleme araçları olarak önem kazanmaktadır. Sendromik sürveyans sistemleri, acil servis başvurularındaki olağandışı artışları gerçek zamanlı olarak analiz ederek potansiyel biyolojik olayların erken tespit edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda; bulaşıcı hastalıkların ve salgınların önlenmesi ve kontrolünün sağlanması amacıyla Sağlık Bakanlığı tarafından 30.05.2007 tarih ve 26537 sayılı Bulaşıcı Hastalıklar Sürveyans ve Kontrol Esasları Yönetmeliği yayımlanmıştır. Bu da KBRN hazırlığının ulusal sağlık sistemine entegre olmasını sağlamıştır (41).

7.3 Şüpheli Paket veya Madde ile Karşılaşma Protokolü

Biyoterörizme hazırlığın pratik boyutlarından biri de şüpheli paket veya madde ile karşılaşıldığında uygulanacak protokollerdir. Şüpheli bir paketin özellikleri arasında tozlu veya toz çıkan bir yapıda olması, tanınmayan bir göndericiden gelmesi, gönderici bilgisinin bulunmaması, içeriğiyle orantısız ağırlıkta olması, aşırı miktarda bant veya ip ile sarılmış olması ve tuhaf bir koku yayması sayılabilir (3). Böyle bir paketle karşılaşıldığında izlenmesi gereken adımlar şunlardır: paketi sallama veya açma, düz bir yüzeye yavaşça yerleştir, mümkünse plastik bir torba ile ört, bulunulan mekânın havalandırma sistemini kapat, elleri bol su ve sabunla yıka, emniyet güçlerini ve sağlık otoritelerini bilgilendir ve temas eden veya aynı ortamda bulunan kişilerin listesini çıkar. Bu protokollerin hem kamu kurumlarında hem de özel sektörde düzenli tatbikatlarla pekiştirilmesi gerekmektedir. Şüpheli madde ile temas etmiş kişilerin derhal izole edilmesi ve tıbbi değerlendirmeye alınması, olası bir biyolojik saldırının

etkilerinin sınırlandırılacaktır. Profilaktik antibiyotik veya antiviral tedavinin altın saat penceresi içinde başlatılması, morbidite ve mortaliteyi önemli ölçüde azaltabilecektir (3).

7.4 Laboratuvar Tanı Kapasitesi

Biyoterörizme karşı etkili müdahale edebilmenin ön koşullarından biri, ajanın hızlı ve güvenilir biçimde tanımlanabilmesidir. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli tanı yöntemleri bulunmaktadır: kültür temelli geleneksel mikrobiyolojik yöntemler, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ve gerçek zamanlı PCR gibi moleküler tanı teknikleri, enzim bağlı immünosorbent testi (ELISA) ve lateral akış immünokromatografik testler gibi immünojenik yöntemler ve kütle spektrometrisi temelli tanımlama sistemleri sayılabilir (3). Hızlı ve taşınabilir tanı sistemlerinin geliştirilmesi, saha koşullarında biyolojik ajanların tanımlanması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda biyosensör teknolojileri, geleneksel yöntemlere kıyasla hem daha hızlı sonuç verme hem de sahada kullanılabilir olma avantajına sahiptir. Optik, elektrokimyasal ve piezoelektrik temelli biyosensörler, dakikalar içinde sonuç vererek saha koşullarında hızlı karar almayı mümkün kılmaktadır (42). Biyolojik savunma alanında laboratuvar altyapısına bağımlılığın azaltılması, özellikle kaynak kısıtlı ortamlarda ve saha operasyonlarında müdahale hızını doğrudan etkileyen belirleyici bir faktördür.

7.5 Dekontaminasyon

Biyolojik bir saldırı sonrasında kontamine alanların dekontaminasyonu, hem teknik hem de lojistik açıdan son derece zorlu bir süreçtir. Gruinard Adası örneğinde görüldüğü üzere, özellikle spor oluşturan bakteriler söz konusu olduğunda dekontaminasyon yıllar sürebilmektedir (13). 2001 yılındaki antraks mektupları olayının ardından ABD Senato Binası'nın dekontaminasyonu, klor dioksit gazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve süreç aylar almıştır (43). Dekontaminasyon yöntemleri arasında formaldehit, klor dioksit, hidrojen peroksit buharı ve sodyum hipoklorit çözeltileri yer almaktadır. Yöntem seçimi, kontamine alanın niteliğine, ajanın türüne ve çevresel koşullara göre belirlenmektedir. Dekontaminasyon sürecinde çevresel örnekleme ve doğrulama testlerinin yapılması, alanın güvenli biçimde tekrar kullanıma açılabilmesi için zorunludur (44). ABD'deki antraks mektupları olayının ardından bazı posta tesislerinin dekontaminasyonu 26 aydan fazla sürmüş ve toplam maliyet 300 milyon doları aşmıştır (43). Bu veriler, bir biyolojik saldırının uzun vadeli ekonomik ve operasyonel yükünü somut biçimde ortaya koymaktadır.

8. TÜRKİYE'NİN BİYOTERÖRİZME HAZIRLIK DURUMU

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla hem Avrupa hem de Ortadoğu arasında bir köprü niteliğindedir ve bu stratejik konum, ülkeyi çeşitli güvenlik tehditlerine karşı kırılgan kılmaktadır. Atlantik Fırtınası tatbikatında İstanbul'un hedef kentlerden biri olarak seçilmesi, Türkiye'nin biyoterörizm riski taşıyan ülkeler arasında değerlendirildiğini göstermektedir (29).

Türkiye'de biyoterörizme hazırlık konusunda hem güçlü hem de geliştirilmesi gereken yönler bulunmaktadır. Güçlü yönler arasında Sağlık Bilimleri Üniversitesi bünyesindeki Tıbbi Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer (KBRN) Savunma Anabilim Dalı'nın varlığı, Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesindeki KBRN savunma birlikleri ve uluslararası kuruluşlarla (NATO, DSÖ) yürütülen iş birliği programları sayılabilir. İlave olarak, 2002 yılında yaşanan SARS (Şiddetli akut solunum yolu sendromu), 2005 yılındaki kuş gribi, 2009 yılındaki domuz gribi, 2013 yılındaki MERS (Orta Doğu solunum sendromu) ve son olarak 2020 yılındaki COVID-19 (Coronavirus hastalığı-19) salgını ülkemizin biyoterörizme hazırlık ve planların uygulanması kapsamında deneyim kazanmasını sağlamıştır. Ancak Atlantik Fırtınası Tatbikatında ortaya çıkan yüzde 1'lik aşı stoku sorunu, ulusal biyolojik savunma kapasitesinin önemli eksiklikler barındırdığına işaret etmektedir.

Türkiye'nin biyoterörizme hazırlık düzeyini artırabilmesi yönelik göz önünde bulundurulması gerekenler arasında ulusal biyolojik tehdit değerlendirme kapasitesinin güçlendirilmesi, biyolojik savunma alanında referans laboratuvar ağının genişletilmesi, sağlık personeline yönelik sürekli eğitim programlarının yaygınlaştırılması, ulusal biyolojik olay müdahale planının güncel tutulması ve tatbikatlarla sınanması, aşı ve antidot stoklarının yeterli düzeye çıkarılması ile sivil-asker koordinasyonunun güçlendirilmesi yer almaktadır.

Ülkemizde KBRN alanında yürütülen akademik çalışmalar ve eğitim faaliyetleri, bu tehdide karşı farkındalığın artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak farkındalığın operasyonel hazırlığa dönüştürülmesi için kurumlar arası koordinasyon mekanizmalarının daha etkin hale getirilmesi ve kaynak tahsisinin artırılması gerekmektedir. Biyoterörizme hazırlık, yalnızca güvenlik güçlerinin değil, tüm sağlık sisteminin ve toplumun sorumluluğundadır. Bu çerçevede toplumsal farkındalık kampanyalarının düzenlenmesi, halkın biyolojik tehditler konusunda bilgilendirilmesi ve medya kuruluşlarının sorumlu habercilik ilkeleri konusunda eğitilmesi de hazırlık sürecinin ayrılmaz bileşenleridir. Biyogüvenlik alanında ulusal strateji belgelerinin hazırlanması ve düzenli aralıklarla güncellenmesi, koordineli bir müdahale kapasitesinin temelini oluşturmaktadır.

9. SONUÇ

Biyoterörizm tehdidi, 21'inci yüzyılda ulusal ve uluslararası güvenlik gündeminin en kritik konularından biri olmaya devam etmektedir. Tarihsel örnekler, tatbikat sonuçları ve epidemiyolojik veriler, bu tehdidin gerçek, somut ve potansiyel olarak yıkıcı olduğunu açıkça göstermektedir. Sverdlovsk kazası, Amerithrax olayları ve Aum Shinrikyo girişimleri, biyolojik silahların hem devlet hem de devlet dışı aktörler tarafından kullanılabilmesini ya da en azından kullanılmaya çalışılabileceğini kanıtlamıştır.

Biyolojik silahların "fakirin atom bombası" olarak nitelendirilmesi, bu silahların erişilebilirliği ve etki potansiyeli arasındaki orantısızlığı çarpıcı biçimde özetlemektedir. Düşük maliyetle üretilebilmeleri, tespit edilmelerinin zorluğu, etkilerinin gecikmiş ortaya çıkması ve toplumda yarattıkları panik, biyolojik silahları terör örgütleri açısından cazip kılan temel unsurlar arasındadır.

Atlantik Fırtınası ve Dark Winter tatbikatları, mevcut sağlık altyapılarının büyük ölçekli bir biyolojik saldırıyla başa çıkmakta yetersiz kalabileceğini, uluslararası iş birliği mekanizmalarının siyasi çıkar çatışmaları nedeniyle etkinliğini yitirebileceğini ve ulusal düzeyde öz yeterlilik kapasitesinin kritik olduğunu net biçimde kanıtlamıştır. Bu derslerin günümüz biyoterörizme hazırlık politikalarına entegre edilmesi hayati öneme sahiptir.

Uluslararası hukuki çerçeve, özellikle BWC ve BMGK 1540 kararı, biyolojik silahların yasaklanması ve yayılmasının önlenmesi konusunda önemli bir temel oluşturmaktadır. Ancak doğrulama mekanizmalarının yetersizliği, sentetik biyoloji alanındaki hızlı gelişmeler ve devlet dışı aktörlerin artan kapasiteleri, bu çerçevenin güncellenmesi ve güçlendirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, ülkemizin KBRN alanında akademik ve askeri düzeyde önemli bir birikime sahip olduğu görülmektedir. Ancak Atlantik Fırtınası tatbikatının ortaya koyduğu aşı stoğu yetersizliği ve kurumlar arası koordinasyonun geliştirilmesi acil olarak ele alınması gereken konulardır. Biyoterörizme hazırlık, bir lüks değil, ulusal güvenliğin ayrılmaz bir bileşenidir.

Sonuç olarak, biyoterörizm tehdidiyle etkili biçimde mücadele edebilmek için hem ulusal hem de uluslararası düzeyde kapsamlı bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımın hem teknik hem de kurumsal boyutları bulunmaktadır ve her ikisinin de eş zamanlı olarak ele alınması önemlidir. Teknik boyut; sürveyans ve erken uyarı sistemlerinin güçlendirilmesini, sağlık personelinin sürekli eğitimini, laboratuvar tanı kapasitesinin artırılmasını, aşı ve antidot stoklarının yeterli düzeyde tutulmasını, uluslararası iş birliği

mekanizmalarının etkinleştirilmesini ve toplumsal farkındalığın artırılmasını kapsamalıdır. Kurumsal boyut ise sağlık bakanlığı, güvenlik birimleri, sivil savunma kuruluşları ve uluslararası örgütler arasında etkin bir koordinasyon ve iletişim ağının kurulmasını gerektirmektedir. Her bir bileşen, diğerleriyle entegre biçimde işlediğinde anlam kazanmaktadır; tek başına hiçbiri yeterli değildir. Biyoterörizme karşı en etkili savunma, çok katmanlı, çok disiplinli ve proaktif bir hazırlık stratejisinin benimsenmesidir.

Romalı hukukçuların dile getirdiği "*Armis bella non venenis geri*" — "Savaş silahlarla yapılır, zehirle değil!" ilkesi, günümüzde de geçerliliğini korumaktadır. Bu ilkenin uluslararası toplum tarafından etkin biçimde savunulması ve uygulanması, biyoterörizm tehdidine karşı en güçlü kalkan olmaya devam edecektir. Olağan dışı koşullarda hekimlik pratiği de bu tehdiye karşı hazırlıklı, bilgili ve kararlı bir duruşu zorunlu kılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Perry Robinson J. Public health response to biological and chemical weapons - WHO guidance. 2nd ed. Geneva: World Health Organization; 2004. 1 s.
2. Inglesby TV, O'Toole T, Henderson DA, Bartlett JG, Ascher MS, Eitzen E, vd. Anthrax as a biological weapon, 2002: updated recommendations for management. JAMA. 01 Mayıs 2002;287(17):2236-52. PubMed PMID: 11980524.
3. Ortatatlı M. Biyolojik Silahlar. İçinde: Eryılmaz M, Dizer U, editörler. Afet Tıbbı. Ankara: Ünsal Yayınları; 2005. s. 1207-55.
4. Mayor A. Greek fire, poison arrows, and scorpion bombs: unconventional warfare in the ancient world. Princeton University Press; 2022.
5. Christopher LGW. Biological Warfare. JAMA. 06 Ağustos 1997;278(5):412. doi:10.1001/jama.278.5.412
6. Flora SJS. Biological warfare agents: History and modern-day relevance. İçinde: Handbook on biological warfare preparedness. Elsevier; 2020. s. 1-11.

7. Wheelis M. Biological sabotage in World War I. İçinde: Geissler E, van Courtland Moon JE, editörler. *Biological and Toxin Weapons: Research, Development and Use from the Middle Ages to 1945*. Oxford: Oxford University Press; 1999. s. 35-62.
8. Barras V, Greub G. History of biological warfare and bioterrorism. *Clinical Microbiology and Infection*. Haziran 2014;20(6):497-502. doi:10.1111/1469-0691.12706
9. Alibek K, Handelman S. *Biohazard: The Chilling True Story of the Largest Covert Biological Weapons Program in the World*. New York: Random House; 1999.
10. Meselson M, Guillemin J, Hugh-Jones M, Langmuir A, Popova I, Shelokov A, vd. The Sverdlovsk anthrax outbreak of 1979. *Science*. 1994;266(5188):1202-8.
11. Riedel S. Biological warfare and bioterrorism: a historical review. İçinde: *Baylor University Medical Center Proceedings*. Taylor & Francis; 2004. s. 400-6.
12. Jernigan JA, Stephens DS, Ashford DA, Omenaca C, Topiel MS, Galbraith M, vd. Bioterrorism-related inhalational anthrax: the first 10 cases reported in the United States. *Emerging Infect Dis*. Aralık 2001;7(6):933-44. PubMed PMID: 11747719.
13. Manchee RJ, Stewart WD. The decontamination of Gruinard Island. *Chemistry in Britain*. 1988;24(7):690-1.
14. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, vd. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. Şubat 2008;451(7181):990-3. doi:10.1038/nature06536
15. Taylor LH, Latham SM, Woolhouse ME. Risk factors for human disease emergence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 29 Temmuz 2001;356(1411):983-9. doi:10.1098/rstb.2001.0888 PubMed PMID: 11516376; PubMed Central PMCID: PMC1088493.
16. Çelebi G. Afetlerde Vektör Kaynaklı Bakteriyel ve Viral Enfeksiyon Hastalıkları. *Turkiye Klinikleri Infectious Diseases-Special Topics*. 2021;14(2):95-8.
17. Singh VV, Boopathi M, Thakare VB, Thavaselvam D, Singh B. Protective equipment for protection against biological warfare agents. İçinde: *Handbook on Biological Warfare Preparedness* [Internet]. Elsevier; 2020 [a.yer 31 Mart 2026]. s. 173-94. Erişim adresi:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128120262000098> doi:10.1016/B978-0-12-812026-2.00009-8

18. Atlas RM. Bioterrorism: From Threat to Reality. *Annu Rev Microbiol.* Ekim 2002;56(1):167-85. doi:10.1146/annurev.micro.56.012302.160616
19. Poor Toulabi B. The Myth of the “Poor Man’s Atomic Bomb”: Knowledge, Method, and Ideology in the Study of Chemical, Biological, and Nuclear Weapons. *Journal of Global Security Studies.* 19 Aralık 2022;8(1):ogac037. doi:10.1093/jogss/ogac037
20. Rotz LD. Public Health Assessment of Potential Biological Terrorism Agents. *Emerg Infect Dis.* Şubat 2002;8(2):225-30. doi:10.3201/eid0802.010164
21. Dando M. *Bioterror and Biowarfare.* The Rosen Publishing Group, Inc; 2009.
22. Biselli R, Nisini R, Lista F, Autore A, Lastilla M, De Lorenzo G, vd. A Historical Review of Military Medical Strategies for Fighting Infectious Diseases: From Battlefields to Global Health. *Biomedicines.* 22 Ağustos 2022;10(8):2050. doi:10.3390/biomedicines10082050 PubMed PMID: 36009598; PubMed Central PMCID: PMC9405556.
23. Inglesby TV, Dennis DT, Henderson DA, Bartlett JG, Ascher MS, Eitzen E, vd. Plague as a Biological Weapon. *JAMA.* 03 Mayıs 2000;283(17):2281. doi:10.1001/jama.283.17.2281
24. Kenar L, Ortatatli M. Kimyasal ve biyolojik savaş ortamında tıbbi yaklaşım. İçinde: Murat H, Mustafa U, editörler. *Gün Sıfır Travmatoloji.* İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi; 2013. s. 461-510.
25. Saravanan P, Rajaseger G, Eric YPH, Moochhala S. Botulinum toxin: present knowledge and threats. *Biological Toxins and Bioterrorism. Toxinology;* 2015.
26. Moshiri M, Etemad L, Balali-Mood M. The biowarfare agent ricin. *Biological Toxins and Bioterrorism, Series: Toxinology.* 2015;1:43-59.
27. Panghal A, Flora SJS. Viral agents including threat from emerging viral infections. İçinde: *Handbook on biological warfare preparedness.* Elsevier; 2020. s. 65-81.

28. The Independent [Internet]. 2001 [a.yer 01 Nisan 2026]. Infected: how anthrax could paralyse a city and kill thousands. Erişim adresi: <https://www.independent.co.uk/life-style/health-and-families/health-news/infected-how-anthrax-could-paralyse-a-city-and-kill-thousands-5364406.html>
29. Atlantic Storm | Johns Hopkins Center for Health Security [Internet]. [a.yer 01 Nisan 2026]. Erişim adresi: <https://centerforhealthsecurity.org/our-work/tabletop-exercises/atlantic-storm-a-tabletop-exercise>
30. O'Toole T, Mair M, Inglesby TV. Shining Light on "Dark Winter". *Clinical Infectious Diseases*. Nisan 2002;34(7):972-83. doi:10.1086/339909
31. Ortatatlı M, Kenar L. Role of Military Hospitals in Handling CBRN Disasters. İçinde: Arora R, Arora P, editörler. *Disaster management: medical preparedness, response, and homeland security*. Wallingford, Oxfordshire: CABI; 2013. s. 275-310.
32. Ramage J, Pillai S. The Public Health Response to Potential Bioterrorism by Toxin Attack. İçinde: *Biological Toxins and Bioterrorism*. Springer; 2015. s. 323-55.
33. Pickett A. Counterfeit Botulinum Medical Products and the Risk of Bioterrorism. *Biological Toxins and Bioterrorism*. 2015;229-44.
34. Silahların Kontrolü ve Silahsızlanma / T.C. Dışışleri Bakanlığı [İnternet]. [a.yer 10 Nisan 2026]. Erişim adresi: <https://www.mfa.gov.tr/silahlarin-kontrolu-ve-silahsizlanma.tr.mfa>
35. Okoro OI, Oluka NL. Weapons of mass destruction and modern terrorism: implications for global security. *Asian Social Science*. 2019;15(3):1-13.
36. Seevaratnam JI. The Australia Group: Origins, Accomplishments, and Challenges. *Nonproliferation Review*. 2006;13(2):401-15.
37. Nagaraajan V. Planning for protection of civilians against bioterrorism. İçinde: *Handbook on Biological Warfare Preparedness*. Elsevier; 2020. s. 273-8.
38. Sathua K, Flora SJS. Bacterial biological warfare agents. İçinde: *Handbook on Biological Warfare Preparedness*. Elsevier; 2020. s. 13-31.

39. Hughes JM, Gerberding JL. Anthrax bioterrorism: lessons learned and future directions. *Emerging Infectious Diseases*. 2002;8(10):1013.
40. T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). KBRN Tehlikelere İlişkin Ulusal Eylem Planı. Ankara: AFAD; 2019. Report No.
41. Boz A, İlhan MN. Türkiye’de sağlık alanında erken uyarı cevap sisteminin mevzuat incelemesi. *ESTUDAM Public Health Journal*. 2025;10(3):378-86. doi:10.35232/estudamhsd.1703667
42. Ortatatli M, Saatci E, Kilic Z, Kenar L. Development of an amperometric biosensor for the detection of Bacillus anthracis spores. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. Kasım 2024;110(3):116473. doi:10.1016/j.diagmicrobio.2024.116473
43. Schmitt K, Zacchia NA. Total decontamination cost of the anthrax letter attacks. *Biosecurity and bioterrorism: biodefense strategy, practice, and science*. 2012;10(1):98-107.
44. Kenar L, Ortatatli M, Yaren H, Karayilanoglu T, Aydogan H. Comparative sporicidal effects of disinfectants after release of a biological agent. *Mil Med*. Haziran 2007;172(6):616-21. PubMed PMID: 17615843.

KBRN TERÖRİZMİ

Prof. Dr. Sermet Sezigen

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Savunma Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Tıbbi Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer (KBRN) Savunma AD.

1. GİRİŞ

KBRN terörizmi; kimyasal, biyolojik, radyolojik veya nükleer (KBRN) maddelerin kasıtlı olarak kullanılmasıyla kitlesel korku yaratmayı, toplu can kaybına yol açmayı, devlet otoritesini zayıflatmayı veya toplumsal düzeni bozmayı amaçlayan terör faaliyetlerini ifade eder. KBRN terörizmi, etkisi çok büyük ve uzun vadeli olabilen, bu nedenle de uluslararası güvenliğin en ciddi tehditleri arasında yer alan bir terörizm türüdür. Bu bölümde son yirmi yılda uluslararası güvenlik ve tıbbi KBRN kapsamında önem arz eden önemli radyolojik ve kimyasal terör saldırıları kronolojik bir sırada sunulmuştur.

2. KBRN TERÖRİZMİ

2.1 Radyolojik Terörizm

Radyolojik terörizm, nükleer bir detonasyon gerçekleştirilmeden, radyoaktif maddelerin kasıtlı olarak kullanılması veya kullanma tehdidi yoluyla korku yaratmayı, toplumsal düzeni bozmayı, ekonomiye ya da insan sağlığına zarar vermeyi amaçlayan eylemleri ifade eder. En sık tartışılan uygulama biçimi, radyoaktif materyalin konvansiyonel patlayıcılarla birleştirilerek bir alana yayılmasını hedefleyen radyolojik saçılma düzeneği olup, kamuoyunda genellikle “kirli bomba” olarak adlandırılmaktadır (1).

2006 Alexander Litvinenko Polonyum 210 Suikastı

2006 yılında Birleşik Krallık Londra’da Alexander Litvinenko’nun öldürülmesi, radyoaktif element polonyum-210 (^{210}Po) kullanılarak gerçekleştirildiği belgelenmiş ilk cinayet vakasıdır. Londra’da Milleniyum Otelinin kafesinde bir gün önce iki Rus arkadaşı ile çay içen Litvinenko 01 Kasım 2006 tarihinde hastalanmış ve 23 gün sonra, 23 Kasım 2006’da, çoklu organ yetmezliği ile seyreden akut radyasyon sendromu (ARS) nedeniyle hayatını kaybetmiştir (2-3) Litvinenko’da başlangıçta şiddetli gastrointestinal semptomlar, kısa bir sürenin ardından trombositopeni, nötropeni, alopesi, mukozit, kemik iliği yetmezliği ile mekanik ventilasyon ve dolaşım desteği gerektiren çoklu organ yetmezliği ortaya çıkmış ve 23. günde kardiyak arrest sonucu hayatını kaybetmiştir (2). Belirtiler erken dönemde

enfeksiyon veya kimyasal zehirlenmeyi taklit etmiş ve ^{210}Po zehirlenmesi şüphesi geç olmuştur. Son dönemde idrarda yapılan gama spektroskopisinde 803 keV karakteristik alfa emisyonunun saptanmasıyla polonyum zehirlenmesi tanısı konmuştur (2). ^{210}Po yüksek enerjili bir alfa yayıcı olup yutulması veya solunması durumunda aşırı derecede radyotoksiktir. Başlıca karaciğer, dalak, böbrekler, kemik iliği ve deride birikir (4-7). Litvinenko vakası; çok küçük ve gizli alınan bir dozun öldürücü olabileceğini, buna karşın çevresel kontaminasyonun çoğunlukla düşük dozlu maruziyetlere yol açtığını göstermiştir (8-10).

2.2 Kimyasal terörizm

Kimyasal terörizm; kimyasal harp maddeleri ya da toksik kimyasal maddelerin terör eylemleri kapsamında kasıtlı olarak kullanılması yoluyla bireyleri ve toplumları hedef alan bir şiddet biçimidir. Bu tür eylemler, can kaybına yol açmanın yanı sıra yaygın korku yaratır ve toplumsal düzeni sarsar. Kimyasal terörizm, KBRN tehdit spektrumu içinde değerlendirilmektedir ve hem ulusal hem de küresel düzeyde ciddi bir halk sağlığı ve güvenlik sorunu olarak kabul edilmektedir (11-12). Bu eylemler genellikle gaz, sıvı veya aerosol formunda kimyasalların yayılması yoluyla gerçekleştirilmekte ve sivil hedefler üzerinde ölüm, yaralanma ve psikolojik etki oluşturmayı amaçlamaktadır (11-12). Kimyasal terör eylemlerinde kullanılan maddeler genel olarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. İlk grup, klor ve göz yaşartıcı gazlar gibi boğucu veya tahriş edici gazlardan oluşmaktadır. Bu maddeler solunum yollarını etkileyerek akut sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (13-14). İkinci grup, sülfür mustard gibi özellikle cilt ve mukozal dokular üzerinde ciddi hasar oluşturabilmekte ve bazı bölgelerde hedefli saldırılarla ilişkilendirilmektedir (15-16). Üçüncü grup ise siyanür, sarin ve VX gibi kan ve sinir ajanlarını kapsamaktadır. Bu maddeler yüksek toksisiteyi nedeniyle kısa sürede ölümcül etki gösterebilmekte ve klasik kimyasal savaş ajanları kategorisinde değerlendirilmektedir (11, 13). Kimyasal terör saldırılarında hedeflerin çoğunlukla siviller olduğu bildirilmektedir. Literatürde özel bireyler, eğitim kurumları ve bazı vakalarda özellikle kadınlar ve kız çocuklarının hedef alındığına dair bulgular yer almaktadır (14-16). Bu durum, kimyasal terörizmin yalnızca fiziksel zararlarla sınırlı kalmadığını, aynı zamanda toplumsal ve psikolojik etkiler yarattığını göstermektedir.

Kimyasal terörizm, olay sıklığı açısından görece nadir görülmesine rağmen, etkileri bakımından yüksek riskli bir tehdit olarak değerlendirilmektedir. “Düşük sıklık–yüksek etki” özelliği, bu saldırıların kitlesel yaralanmalara, uzun süreli sağlık sorunlarına ve kalıcı psikolojik travmalara yol açabilme potansiyelini vurgulamaktadır (11, 17).

Toksik endüstriyel kimyasalların birçok ülkede kolay erişilebilir olması ve bu maddelerin nispeten basit yöntemlerle yayılabilmesi, kimyasal terörizmin güncelliğini koruyan küresel bir tehdit olmasına katkıda bulunmaktadır (12-13, 18). Bu bağlamda, risk literatürü kimyasal terörizmi, terörist grupların toksik endüstriyel kimyasallar ve klasik kimyasal silahları kullanarak nüfuslara saldırma olasılığının belirsiz ancak potansiyel olarak yıkıcı etkisi olarak tanımlamaktadır (19).

2017 Kuala Lumpur VX Saldırısı

13 Şubat 2017'de, Kuzey Kore liderinin üvey kardeşi Kim Jong-nam, Malezya Kuala Lumpur Uluslararası Havalimanı'nda sinir ajanı VX ile zehirlenerek hayatını kaybetmiştir. Kim Jong-nam; iki kadının kısa süreli temasla yüzüne sıvı sürmesi sonucu saldırıya uğramış ve saldırganlar olay yerinden hızla uzaklaşmıştır (20-22). Mağdur, şiddetli göz ağrısından şikâyet etmiş, kısa sürede ağır zehirlenme belirtileri geliştirmiş, yere yığılmış ve kısa süre sonra hayatını kaybetmiştir (23). Otopsi ve toksikolojik analizler, göz ve yüz sürüntülerinde VX varlığını doğrulamıştır (20-21).

VX, son derece toksik bir organofosfat sinir ajanı olup güçlü bir asetilkolinesteraz inhibitörüdür. Bu inhibisyon, asetilkolinin sinaptik aralıkta birikmesine ve akut kolinerjik kriz tablosuna yol açar (20, 23). VX; mukozal yüzeylerden (göz, burun, ağız) ve ciltten son derece etkili şekilde emilir; yağlı, kalıcı ve düşük uçuculuğa sahip olması maruziyet riskini artırır (20-21). Analitik değerlendirmeler, saldırıda iki ayrı kimyasal maddenin (etil metilfosfonik asit ve 2-(diizopropilamino)etanetiol) cilt üzerinde reaksiyona girerek VX oluşturmuş olabileceğini ve bunun ikili bir sistem kullanımına işaret ettiğini göstermektedir. Vücut sıcaklığının bu reaksiyonu kolaylaştırmış olabileceği düşünülmektedir (22). Bu saldırı, VX'in çok küçük miktarlarda dahi, kalabalık sivil alanlarda gizlice taşınım kullanılabilmesini göstermiş ve hem hedefli suikast hem de terörizm açısından ciddi endişeler doğurmuştur (20, 22-23). Söz konusu olay, VX'in etki mekanizması, saldırının nasıl gerçekleştirildiği ve tıbbi ile güvenlik hazırlıkları açısından doğurduğu sonuçları ortaya koyması bakımından bilimsel ve adli literatürde sıklıkla incelenmektedir.

2018 Salisbury ve Amesbury Noviçok Olayları

04 Mart 2018'de, eski bir Rus istihbarat görevlisi olan Sergei Skripal ve kızı Yulia Skripal, Birleşik Krallık'ta Salisbury kentinde, Sovyetler Birliği döneminde geliştirilmiş Noviçok (A-serisi) ailesine ait dördüncü nesil bir sinir ajanına maruz kaldıktan sonra

bilinçlerini kaybederek hastaneye kaldırılmıştır. Bu olay, eşi görülmemiş bir tıbbi müdahale sürecini, kapsamlı bir adli soruşturmayı ve ciddi bir diplomatik krizi tetiklemiştir. O tarihten bu yana yapılan araştırmalar; kullanılan ajanın özelliklerini, klinik seyri, kamuoyunun tepkilerini ve daha geniş güvenlik etkilerini incelemiştir.

Noviçoklar; asetilkolinesterazı inhibe eden organofosforlu dördüncü nesil sinir ajanlarıdır ve ciddi kolinerjik kriz ile potansiyel olarak ölümcül solunum yetmezliğine neden olurlar (20-23). Salisbury olayında kullanılan ajanın A-234 olduğu belirlenmiş ve bu bulgu Kimyasal Silahların Yasaklanması Örgütü (OPCW) tarafından doğrulanmıştır (24-25). 04 Mart 2018 tarihinde Sergei ve Yulia Skripal; evlerinin ön kapısının koluna uygulanan Noviçoka temas sonrasında bir parkta bilinçleri kapalı halde bulunmuşlardır. Uzun süreli yoğun bakım tedavisinden sonra hayatta kalmışlardır (20, 24-26). Olaydan sonra kontrol için Skripallerin evine ilk müdahale eden polis memuru Nick Bailey, kapı kolundan kontamine olmuş ve organofosfat zehirlenmesi belirtileriyle hastaneye kaldırılmış, ancak yoğun bakımda geçen bir tedavi sürecinden sonra sağlığına kavuşmuştur (25). 30 Haziran 2018 tarihinde Amesbury/ Birleşik Krallıkta Charlie Rowley isimindeki bir sivil, Salisbury saldırısında kullanılan Noviçok sinir ajanı içeren parfüm şişesini bir parktan geçerken tesadüfen yerde bulmuş ve söz konusu kadın parfümünü kullanması için kız arkadaşı Dawn Sturgess'a vermiştir. Kendisine parfümü sıkan Bayan Sturgess dakikalar içinde ciddi muskarinik belirtiler göstermiş, acil olarak çağrılan ambulans ile en yakın hastanenin yoğun bakımına sevk edilmiş ve sekiz gün sonra hayatını kaybetmiş, Bayan Sturgess'ten saatler sonra etkilenerek ambulans ile acil servise kaldırılan Bay Rowley ise yoğun bakım sürecini atlatarak, hayatta kalmıştır (24, 27). Noviçok maruziyetinde; klinik tabloda miyozis, görme bozuklukları, artmış sekresyonlar, kas fasikülasyonları, solunum yetmezliği, nöbetler, koma ve 72 güne varan yoğun bakım yatışları bildirilmiştir (27).

Klinisyenler ve acil durum planlayıcıları, bu olayın Birleşik Krallık'ın yüksek düzeyli kimyasal saldırılara hazırlığında önemli boşluklar bulunduğunu ortaya koyduğunu vurgulamaktadır (23). Siyasi düzlemde Birleşik Krallık; bu olaylar zincirini Rusya'da geliştirilmiş askerî bir sinir ajanıyla gerçekleştirilen bir suikast girişimi olarak nitelendirmiş; bu durum Rus diplomatların sınır dışı edilmesine ve büyük bir Rusya–Birleşik Krallık diplomatik krizine yol açmıştır (25, 28-29). Bu vaka, Noviçok ajanlarının 2020 yılında Kimyasal Silahlar Sözleşmesi kapsamına alınmasında etkili olmuştur (25).

Sonuç olarak 2018 Salisbury Noviçok olayı, Soğuk Savaş dönemine ait bir A-serisi sinir ajanının kullanıldığı tarihî bir kimyasal saldırı örneğidir. Olay, ağır ancak kısmen hayatta kalınabilen zehirlenmelere, karmaşık yoğun bakım süreçlerine ve geniş çaplı adli ile

halk sağlığı operasyonlarına yol açmıştır. Doğrudan mağdurların ötesinde, Noviçok toksikolojisine ilişkin anlayışı derinleştirmiş, kimyasal olaylara hazırlıktaki yapısal zayıflıkları açığa çıkarmış ve Salisbury olayı ile uluslararası ilişkiler üzerinde kalıcı politik, ekonomik ve psikolojik etkiler bırakmıştır.

2020 Alexei Navalny Noviçok Suikastı

Rus muhalefet lideri Alexei Navalny'nin zehirlenmesi, ağdaş dönemde sivillere karşı kimyasal silahların kullanımını açısından en çarpıcı vakalardan birini oluşturmaktadır. Ağustos 2020'de Navalny, uluslararası kuruluşlarca doğrulanın şekilde bir Noviçok sınıfı sinir ajanı ile zehirlenmiş ve hayatta kalmıştır. Buna karşılığ, şubat 2024'te Rusya'da tutuklu bulunduğu sırada hayatını kaybetmiş; 2026 yılında ise bazı Avrupa ölkeleri, ölüm nedeninin son derece nadir bir nörotoksin olan epibatidin maruziyeti olduğunu açıklamıştır. Alexei Navalny'nin 2020 yılında Noviçok sınıfı bir sinir ajanı ile zehirlenmesi, hedefli kimyasal saldırılara ve son derece güçlü nörotoksik bileşiklere yönelik akademik ve politik ilgiyi yeniden artırmıştır.

20 Ağustos 2020 tarihinde Alexei Navalny, Tomsk–Moskova uçuşu sırasında ani gelişen bir rahatsızlık yaşamış, uçak Omsk'a acil iniş yapmak zorunda kalmış ve Navalny yoğun bakım koşullarında hastaneye yatırılmıştır. İki gün sonra Berlin Charité Üniversite Hastanesine ambulans uçak ile sevk edilmiş ve burada yapılan değerlendirmelerde Navalny'nin kolinesteraz inhibitörü özellikte bir Noviçok tipi sinir ajanı ile zehirlendiğini göstermiştir (30-31). Almanya'da yapılan toksikolojik analizler ve OPCW incelemeleri, Noviçok ajanı maruziyetini doğrulamış ve OPCW'nin daha sonraki raporunda olayda “yeni bir Noviçok türünün” kullanıldığı ifade edilmiştir (32).

Novioklar, dördüncü nesil organofosforlu sinir ajanları olarak aşırı toksisite, çevresel kalıcılık ve tespit ile dekontaminasyonun güçlüğü gibi özellikler taşımaktadır (25, 33-34). Vaka temelli ve tarihsel derlemeler, Navalny'nin zehirlenmesini; Skripal ve Litvinenko vakaları gibi diğer politik saikli zehirlenmelerle birlikte, Rusya veya istihbarat bağlantılı olduğu ileri sürölen daha geniş bir örüntünün parçası olarak değerlendirmektedir (33-34).

3. SONUÇ

Sonuç olarak, KBRN terörizmi düşük olasılığına karşın yüksek etki potansiyeli nedeniyle yalnızca bir güvenlik tehdidi değil, aynı zamanda halk sağlığı, çevre, ekonomi ve toplumsal

istikrarı kesen çok boyutlu bir risk alanıdır. Teknolojik yayılım, bilgiye erişimin artması ve karmaşık tedarik zincirleri bu tehdidin önlenmesini zorlaştırırken, etkili bir yanıtın ancak önleme odaklı risk yönetimi, erken uyarı ve hazırlık kapasitesi, güçlü mevzuat ve uluslararası iş birliğiyle mümkün olacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Moore AV Jr. Radiological and nuclear terrorism: Are you prepared? *J Am Coll Radiol.* 2004;1(1):54–58. doi:10.1016/S1546-1440(03)00014-0
2. Nathwani A, Down J, Goldstone J, Yassin J, Dargan P, Virchis A, Gent N, Lloyd D, Harrison J. Polonium-210 poisoning: A first-hand account. *Lancet.* 2016;388(10049):1075–1080. doi:10.1016/S0140-6736(16)00144-6
3. Harrison J, Smith TJ, Fell TP, Smith JW, Ham GJ, Haylock R, Hodgson A, Etherington G. Collateral contamination concomitant to the polonium-210 poisoning of Mr Alexander Litvinenko. *J Radiol Prot.* 2017;37:837–851. doi:10.1088/1361-6498/aa80f5
4. Harrison J, Leggett R, Lloyd D, Phipps A, Scott B. Polonium-210 as a poison. *J Radiol Prot.* 2007;27(1):17–40. doi:10.1088/0952-4746/27/1/001
5. Moecke H, Bey T, Koenig K, Rechenbach P, Schallhorn J. Kurzinformation Polonium-210. *Notfall Rettungsmed.* 2007;10:37–40. doi:10.1007/s10049-007-0890-y
6. Brunka Z, Ryl J, Brushtulli P, Gromala D, Walczak G, Zięba S, Pieśniak D, Anand S, Wiergowski M. Selected political criminal poisonings in the years 1978–2020: Detection and treatment. *Toxics.* 2022;10(8):468. doi:10.3390/toxics10080468
7. Jefferson RD, Goans RE, Blain PG, Thomas SHL. Diagnosis and treatment of polonium poisoning. *Clin Toxicol (Phila).* 2009;47:379–392. doi:10.1080/15563650902956431
8. Acton JM, Rogers MB, Zimmerman PD. Beyond the dirty bomb: Re-thinking radiological terror. *Survival.* 2007;49:151–168. doi:10.1080/00396330701564760
9. Maguire H, Fraser G, Croft J, Bailey M, Tattersall P, Morrey M, Troop P. Assessing public health risk in the London polonium-210 incident, 2006. *Public Health.* 2010;124(6):313–318. doi:10.1016/j.puhe.2010.03.023
10. Nemhauser JB. The polonium-210 public health assessment: The need for medical toxicology expertise in radiation terrorism events. *J Med Toxicol.* 2010;6:355–359. doi:10.1007/s13181-010-0090-x
11. Balachandar K. Management of chemical terrorism and chemical disasters. *Int J Disaster Manag.* 2021;4(3):51–64. doi:10.24815/ijdm.v4i3.21584

12. Gonciarz A, Pich R. Increased risk of chemical terror attacks. *ZN SGSP*. 2024;2(89):109–126. doi:10.5604/01.3001.0054.3831
13. Tin D, Ciottone GR. Chemical agent use in terrorist events: A gathering storm requiring enhanced civilian preparedness. *Prehosp Disaster Med*. 2022;37:327–332. doi:10.1017/S1049023X22000528
14. DeLuca MA, Chai PR, Goralnick E, Erickson TB. Five decades of global chemical terror attacks: Data analysis to inform training and preparedness. *Disaster Med Public Health Prep*. 2021;15:750–761. doi:10.1017/dmp.2020.176
15. Aydin B. Global characteristics of chemical, biological, and radiological poison use in terrorist attacks. *Prehosp Disaster Med*. 2020;35:260–266. doi:10.1017/S1049023X20000394
16. Castro-Delgado R, Palma F, Fernández-Arce L, Uddin H, Fernández-Somoano A. Changing patterns in chemical terrorism 1970–2021. *Front Public Health*. 2025;13:1689809. doi:10.3389/fpubh.2025.1689809
17. Tin D, Granholm F, Hart A, Ciottone GR. Terrorism-related chemical, biological, radiological, and nuclear attacks: A historical global comparison. *Prehosp Disaster Med*. 2021;36:399–402. doi:10.1017/S1049023X21000625
18. Casillas R, Tewari-Singh N, Gray JP. Emerging chemical terrorism threats. *Toxicol Mech Methods*. 2021;31:239–241. doi:10.1080/15376516.2021.1904472
19. Zhu R, Hu X, Li X, Ye H, Jia N. Modeling and risk analysis of chemical terrorist attacks: A Bayesian network method. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(6):2051. doi:10.3390/ijerph17062051
20. Chai PR, Boyer EW, Al-Nahhas H, Erickson TB. Toxic chemical weapons of assassination and warfare: Nerve agents VX and sarin. *Toxicol Commun*. 2017;1:21–23. doi:10.1080/24734306.2017.1373503
21. Sakurada K, Ohta H. No promising antidote 25 years after the Tokyo subway sarin attack: A review. *Leg Med (Tokyo)*. 2020;47:101761. doi:10.1016/j.legalmed.2020.101761
22. Tu AT. The use of VX as a terrorist agent: Four case studies. *Glob Secur Health Sci Policy*. 2020;5:48–56. doi:10.1080/23779497.2020.1801352
23. Stojiljković M. Nerve agents: A clear and present danger to mankind. *Scripta Med*. 2019;50(3):109–111. doi:10.5937/scriptamed50-23266
24. Carlsen L. After Salisbury nerve agents revisited. *Mol Inform*. 2019;38:e1800106. doi:10.1002/minf.201800106

25. Bolt HM, Hengstler JG. Recent research on Novichok. *Arch Toxicol.* 2022;96:1137–1140. doi:10.1007/s00204-022-03273-7
26. Hulse E, Haslam J, Emmett S, Wooley T. Organophosphorus nerve agent poisoning: Management of the poisoned patient. *Br J Anaesth.* 2019;123:457–463. doi:10.1016/j.bja.2019.04.061
27. Haslam J, Russell P, Hill S, Emmett S, Blain P. Lessons from the Salisbury and Amesbury Novichok incidents. *Br J Anaesth.* 2022;128:e200–e205. doi:10.1016/j.bja.2021.10.008
28. Stone R. U.K. attack puts nerve agent in the spotlight. *Science.* 2018;359(6382):1314–1315. doi:10.1126/science.359.6382.1314
29. Vale A, Marrs T, Maynard R. Novichok: A murderous nerve agent attack in the UK. *Clin Toxicol (Phila).* 2018;56:1093–1097. doi:10.1080/15563650.2018.1469759
30. Noga M, Michalska A, Jurowski K. Prediction of acute toxicity (LD50) for Novichoks using in silico methods. *Arch Toxicol.* 2023;97(6):1691–1700. doi:10.1007/s00204-023-03507-2
31. Gagan R, Karthik YB, Savin MS, Kishan MK, Verma A. A systematic review on nerve chemical warfare agents. *Int J Res Appl Sci Eng Technol.* 2021;9:1329–1333.
32. Howes L. Novichok compound poisoned Navalny. *Chem Eng News.* 2020;98(35). Erişim tarihi: 6 Mayıs 2026. <https://cen.acs.org/analytical-chemistry/forensic-science/Novichok-compound-poisoned-Navalny/98/i35>
33. Opravil J, et al. A agents (Novichoks): Narrative review. *Arch Toxicol.* 2023;97:2587–2607.
34. Wiaderek B, Wiśnik-Sawka M, Gajda D, Rzadkowska K, Bryczek-Wróbel P, Sałaciński T. Fourth-generation warfare agents – Novichoks. *Food Chem Toxicol.* 2025;200:115371. doi:10.1016/j.fct.2025.115371

SEYYAR SAĞLIK TESİSLERİ VE KAHRAMANMARAŞ DEPREMİNDE

KULLANIMI

Tbp Alb. Çağlar ÜNLÜ

Askerî Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Her türlü askerî harekâtın sağlık hizmet desteğini; muharebe sahasına mümkün olan en yakın güvenli noktada, çağdaş teknoloji ve eğitimli personel ile süratli ve etkin bir biçimde sağlamak önem arz eder. Alanda sağlık hizmet desteği veren seyyar sağlık tesislerinde hasta ve yaralıya zamanında müdahale edilerek savaştan insan gücü korunmaya çalışılır. Bu tesisler; iç ve dış tehditlere karşı hak ve menfaatlerimizin korunması, tehdit odaklarının yerinde imha edilmesi maksadıyla icra edilecek Milli/NATO ve diğer uluslararası harekâtlarda, yurt içi/dışı doğal afetlerde, barışı destekleme harekâtı kapsamında sağlık hizmet desteği sağlar.

Kullanılan silahların gelişmiş olması neticesinde günümüz harekât alanı tıbbi yetenekleri de eski zamanlara göre daha seyyar, daha gelişmiş, daha etkin ve modüler bir yapıya kavuşturulmuştur. Bunun sonucu olarak da savaş yaralanmalarından oluşan morbidite ve mortalite oranları belirgin derecede düşmüştür.

Geleceğin muharebe sahasında, çok sayıda birlik/harp silah ve araçları yerine, teknoloji ve bilgi üstünlüğü ile tesis edilmiş ve etkinliği artırılmış daha küçük çaplı birliklerin kullanılması öngörülmektedir. Meskûn mahallerde savaş, barışı destekleme harekâtı, terörle mücadele, kriz yönetiminin desteklenmesi ve insani yardım gibi faaliyetler, klasik savaşın yanında silahlı kuvvetlerin karşılaşılabileceği harekât türlerindedir. Bu nedenle, değişik görevler ifa edecek çok rollü elastiki birliklerin sağlık hizmeti desteğinin sağlanması ihtiyacı öne çıkmaktadır.

Ülkemizin coğrafi yapısı ve muhtemel harekât alanları da dikkate alındığında, tıbbî tahliye imkânlarının kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu durum, sağlık hizmetlerinin mümkün olan en ileri hatlara götürülmesini ve yeteri kadar seyyar sağlık tesisi teşkilini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve doğal afetlerin sıklıkla yaşanması, seyyar sağlık tesisine olan ihtiyacı artırmaktadır. Seyyar sağlık tesisleri tehdit ne olursa olsun gelecekte de önemini koruyacağı değerlendirilmektedir.

Bu yazıda, askeri terminolojide Rol 2, Rol 3 seviyesinde seyyar sağlık tesisi olarak geçen; muharebeler, uluslararası barış harekâtları, afetler ve acil durumlar, insani yardım operasyonları, mülteci hareketleri gibi durumlarda askeri veya sivil kurumlar tarafından sağlık

hizmeti veren seyyar hastane tesislerinin yapısı, kapasitesi ve işlevleri hakkında katılımcı grubun bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

2. SEYYAR SAĞLIK TESİSLERİ

2.1 Genel Bilgiler

Seyyar sağlık tesisleri; sabit sağlık tesislerinin olmadığı, güvenlik nedeniyle çalışmadığı, kullanılamaz ya da aşırı yüklenmiş olduğu genellikle muharebe gibi silahlı çatışmalarda ya da doğal afet ve acil durumlarda sağlık hizmeti veren tesislerdir.

Ayaktan sağlık hizmetlerinin sağlanması stratejisinin bir parçasıdır ve etkilenen topluma öncelikli sağlık hizmetlerini verebilen tesistir. Sunulan hizmetlerin seçimi, türü değişebilir fakat genellikle tedavi edici hizmetler (genellikle cerrahi veya diş bakımı) ile koruyucu sağlık hizmetleri (sağlığın geliştirilmesi, aşılama, hastalık taraması) verilir.

Bu tesislerde yapılabilecek her bir faaliyet; etki şekli, insan ve malzeme kaynakları, zaman dilimi ve lojistik yönden dikkatlice planlanır. Bu faaliyetler mortalite ve morbidite oranlarına göre belirlenir ve böylece öncelikli sağlık sorunlarına yanıt verilmeye çalışılır. Verilecek hizmetler öncelikler belirlendikten sonra seçilir.

Seyyar hastaneler denilince en az 10 hasta yatağına ve bir ameliyathaneye sahip, basit laboratuvar tetkiklerini yapabilen, röntgen ve ultrasonografi gibi diagnostik cihazları içeren, kendi personeliyle kolaylıkla kurulabilen çadır veya konteynırlardan oluşan seyyar unsurlar akla gelmelidir.

Böyle bir yetenekle sağlık hizmet desteği modüler hastane yapıları üzerinden verilir. Aşağıda belirtilen durumlarda kullanılır:

- a. Sağlık Acilleri: Felaketle sonuçlanan olaylar, Depremler, Salgınlar, Kontaminasyon (Kirlenme), Büyük toplumsal olaylar,
- b. Uluslararası İşbirliği Uygulamaları (Gelişmekte olan ülkelerde sağlık seferberliği),
- c. Savaş alanları veya askeri birlikler tarafından yürütülen faaliyetler,
- d. Sabit hastanelerin geçici olarak kullanılamaz olduğu durumlar.

Seyyar hastanelerin yetenekleri; bölgesel altyapı, faaliyetin alanı ve yapılış tarzına bağlı olarak değişiklik gösterir. Güçlü bir seyyar hastane; gelişmiş travma yönetimi, kan bankası hizmeti, güçlü tıbbi lojistik, göz, çocuk, kadın-doğum, dahiliye, kardiyoloji, patoloji, enfeksiyon hastalıkları, yoğun bakım ve hemşire hizmeti, tıbbi beslenme tedavisi, davranış tedavisi, meslek sağlığı, fiziksel ve mesleki tedavi, diş tedavisi, koruyucu hekimlik, veteriner hizmeti yanında ek olarak göz, maksillofasiyal ve beyin cerrahi hizmetlerini verebilecek

yetenekte olmalıdır. Aynı zamanda genişletilmiş radyoloji, laboratuvar ve eczane yeteneklerini de içermelidir.

2.2 Seyyar Sağlık Tesisleri Bölümleri

Rol 2, Rol 3 seviyesinde seyyar hastaneler olarak hizmet veren seyyar sağlık tesisleri görevleri yerine getirmek amacıyla fonksiyonel açıdan genel olarak; acil servis bölümü, ameliyathane bölümü, hasta/personel koğuşları bölümü (kolaylık tesisleri) ve destek bölümü olmak üzere dört ana bölüm ile bunları oluşturan çadır ve konteynırdan oluşmaktadır. Modüler olmasına bağlı olarak üniteler eklenip çıkarılabilir ancak genelde;

a. Acil Servis Bölümü; Triaj Ünitesi, Acil Tedavi Ünitesi, Laboratuvar Ünitesi, Radyoloji Ünitesi, Eczane Ünitesi, Diş Ünitesi ile Komuta Merkezi ve Haberleşme Ünitesi'nden,

b. Ameliyathane Bölümü; Ameliyathane Ünitesi, Yoğun Bakım Ünitesi, Sterilizasyon ve Çamaşırhane Ünitesi ile Tıbbi Gazlar Ünitesinden,

c. Hasta/Personel Koğuşları Bölümü; Hasta ve Personel Koğuşları Ünitesi, Tuvalet ve Duş Ünitesi ile Yemekhane Ünitesinden,

d. Destek Bölümü ise Mutfak Ünitesi, Su Arıtma, Dağıtım, Atık Su Ünitesi, Jeneratör Ünitesi, Depolar Ünitesi, Cihaz Bakım Ünitesi, Morg Ünitesi, Dekontaminasyon Ünitesi ile Araç ve Römorklardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Acil Servis Bölümü



Şekil 2. Radyoloji Ünitesi

2.3 Seyyar Sağlık Tesislerinin Türleri

Bu tesisler büyüklük ve görev amaçlarına göre üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;

a. Genel Maksat Hastaneleri;

Geniş çaplı askeri harekât dışında deprem gibi doğal afetlerde de kullanılabilen büyük hastanelerdir. 20-25 taşıyıcıya yüklenmiş, yaklaşık 40 konteynır ve ek çadırlardan oluşur.

Konteynirlarda 30 olan yatak sayısı, ilave çadırlarla 100'e kadar çıkarılabilir. Yaklaşık 150 personelin görev yaptığı bu hastaneler bir futbol sahası genişliğindeki alana konuşlanabilir.

b. Taktik Görev Hastaneleri;

Genel Maksat Hastaneleri'ne göre daha dar kapsamlıdır. Askeri harekâta kullanılacak şekilde tasarlanır. Zırhlı ve mekanize tugaylar için 10-12 taşıyıcıya yüklenmiş konteynır ağırlıklı veya komando tugayları için çadır ağırlıklı olarak imal edilirler.

c. Özel Görev Hastaneleri;

Daha çok kadın doğum, göz ve sağlık taramaları amacını besleyen KBRN korumalı konteynır veya çadır hastanelerdir.

2.4 Seyyar Sağlık Tesisleri İmkân ve Kabiliyetleri

Rol 2 seyyar sağlık tesisi, hasta/yaralı kabul ve triyaj yeteneğine sahip, aynı zamanda resusitasyon icra eden ve Rol 1'dekinden daha yüksek derecedeki yaralanmaların tedavisini yapabilen bir tesistir. Burada Hasar Kontrol Cerrahisi yapılabilir ve yaralıların görevlerine geri dönmesine veya tahliye edilmelerine kadar geçen sürede kısa süreli sınırlı hasta tutma faaliyeti gerçekleştirilebilir. Temel ikincil bakımı sağlamak amacıyla, Primer Cerrahi, yoğun bakım ve hemşire sorumluluğunda yatak tedavisini içerecek şekilde genişletilebilir. Kısaca bu seviyede ileri travma yönetimi ve acil tıbbi tedaviler uygulanır. Paketlenmiş eritrosit süspansiyonları, kırmızı kan hücresi, limitli X-ray, laboratuvar, diş tedavisi, muharebe stresi kontrolü, koruyucu hekimlik, veteriner hizmetleri ve resusitatif cerrahi hizmeti verilir.

Hasar Kontrol Cerrahisi (DCS), hayat ve hayati fonksiyonları kurtarmak amacıyla yaralıları stabilize etmeye çalışan acil cerrahi prosedür ve tedavilerdir. Konsept şudur: Hayatı tehdit eden problemlerle başa çıkmak için sadece minimum olan yapılır. Kanamayı hızlı şekilde durdurma yöntemleri, trakeostomi, pnömotoraksta tüp koyma, diğer ciddi yaralanmalarda amputasyon, vasküler şantlar kullanma bunlara örnek olarak verilebilir. Bu sayede değişik fizyolojik ve diğer uygun parametreler normale yakın bir dereceye yükseltinceye kadar Primer Cerrahi geciktirilebilir. Bu durum tıbbi tahliye esnasında Rol 2 ve Rol 3 arasında tedavinin devamlılığı ve kalitesinin önemine işaret eder.

Primer Cerrahi ise genelleştirilmiş etkileri düzeltmekten ziyade, yaralanmadan kaynaklanan yerel zararın onarılmasına yönelik ameliyattır. Primer Cerrahi'deki gecikmeler, genelleştirilmiş etkilerin daha fazla büyümesine sebep olur, bu da ölüm oranlarının, hastalık ve kalıcı sakatlıkların artmasına yol açar

Rol 3 seyyar sağlık tesisleri ise, hasta/yaralıyı harekât alanında tutma politikasının sınırlamaları içinde harekât alanında ikincil sağlık hizmetleri vermek üzere tasarlanır. Rol 3 tıbbi destek, konuşlanmış hastane ve bunu destekleyici diğer gerekli unsurlardır.

Temelde; Primer Cerrahi seviyesinde cerrahi, yoğun bakım ünitesi, hemşire sorumluluğunda yataklı tedavi hizmeti ve teşhis desteği içerir. Görevin özelliklerine bağlı olarak, göreve özel acil sağlık hizmetlerine odaklı özel klinik nitelikleri de içerir. Ek olarak şunları da içerebilirler:

- a. Uzmanlaşmış Cerrahi (Maksillofasiyal ve sinir cerrahi, yanıklar vb.)
- b. Klinik uzmanları destekleyici İleri ve Uzman Teşhis Kabiliyetleri (Bilgisayarlı Tomografi Tarama, Artroskopi, gelişmiş laboratuvar testleri vb.)
- c. Temel tıbbi tedavi uzmanları (İç hastalıkları, nöroloji, yoğun bakım, göz hekimliği)

3. KAHRAMANMARAŞ DEPREMİ SEYYAR SAĞLIK TESİSLERİ KULLANIMI

3.1 Deprem Bölgesi Sağlık Hizmet Desteği

Deprem görev emrinin alınmasını müteakip 24 saat içinde hazırlıklar tamamlanıp intikal başlamıştır. İntikal, Seyyar Sağlık Teşkilleri Grup Başkanlığına ait 16 adet araç ile karayolu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kış şartları ve bölgedeki trafik yoğunluğu nedeniyle intikal **18 saat** sürmüştür. Gece yarısından sonra konuşlanılacak bölge olan Kahramanmaraş Şehir Hastanesi otoparkına varılmış ve hemen kurulumu başlanmıştır. Kurulum gündüz de devam ederek **13'üncü saatte hasta kabulüne** başlanmıştır. Detay kurulum ile birlikte **18'inci saatte** kurulum tamamlanmıştır.

Toplamda 14 konteyner ve 21 çadırdan oluşan Seyyar Sahra Hastanesinde, 73 personel ile hizmete başlanmış olup ilerleyen dönemde 54 personel (3 Tbp., 1 Ecz Atğm., 29 Yrd. Sağ.Per., 7 Emniyet Per. ve 14 As. Per.) ile 08 Şubat – 05 Haziran 2023 tarihleri arasında sağlık hizmet desteği vermiştir. Kurulduğu günden itibaren **4510** vatandaşımıza muayene ve tedavi hizmeti sunulmuş, **119** ameliyat yapılmıştır.

3.2 İdari Faaliyetler

Personelin öğünleri, depremin yaşanmasının ardından öncelikle kumanya ile sağlanmıştır. Sonrasında AFAD koordinesiyile Kızılay, gönüllülerin oluşturduğu SAK-DER ve TSK envanterinde bulunan Eray Mutfağı aracılığıyla sağlanmıştır. Hastane yemekhanesinde, personelin yanında hastalara, hasta yakınlarına ve bölgede bulunan depremzedeler ile Sağlık Bakanlığı personeline de yemek imkanı sağlanmıştır.

Deprem bölgesinde su hatlarında yaşanan sorunlar nedeniyle öncelikle ihtiyaç duyulan şebeke suyu DSİ tarafından karşılanmıştır. Müteakiben su hatlarının onarımı sonrasında seyyar hastane su tesisatı şebekeye bağlanmıştır. Bu süreçte, şebeke suyu ile oluşabilecek salgın hastalıklara karşı numuneler belirli periyotlarla alınmıştır.

Deprem bölgesine yardım amacıyla gönderilen sağlık malzemelerinde miad sorunu tespit edilmiştir. Ayrıca, kısa bir süre sağlık malzemelerinin uygun koşullarda depolanması ve dağıtımını hususlarında sorunlar yaşanmıştır. Seyyar Sahra Hastanesi Baştabipliği olarak bölgede bulunan kriz merkezine çeşitli konularda danışmanlık ve destek sağlanmıştır.



Şekil 3. Kahramanmaraş Depremi Sonrası Kurulan Seyyar Sahra Hastanesi

3.3 Deprem Bölgesine Yurt Dışından Sağlanan Sağlık Hizmet Desteği

06 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen deprem felaketi nedeniyle deprem bölgesine sağlık hizmet desteği sağlanması amacıyla yurt dışından 26 farklı ülkeden 37 Seyyar Sahra Hastanesi kurulmuştur. NATO tarafından Gaziantep ve Hatay'da İki Seyyar Sahra Hastanesi kurulmuş ve Sağlık Bakanlığına devredilmiştir.

4. SONUÇ

Savaşan insan gücünü muhafaza etmek, onların hayatını korumak ve kurtarmak, fiziksel ve ruhsal yetersizliklerini en aza indirerek görevi desteklemek için herhangi bir intikal öncesinde, süresince ve sonrasında kuvvetlerin sağlığına yüksek öncelik verilmesi bir zorunluluktur. Muharebede sağlık desteği, muharebe çarpanı kadar önemlidir ve stratejik, operasyonel, taktik etkilere sahiptir. Bu hizmet, tıbbi yeteneklerin harekât alanında sunulduğu seyyar sağlık tesislerinde verilir.

Modern savaş konsepti değiştikçe harekât tıbbı da onunla beraber değişmekte ve gelişmektedir. Savaşlar oldukça, savaşan insan gücüne sağlık hizmet desteği de sürecektir. Askeri sağlık personeli de bu tehlikeli ortamlarda hizmet edenlere mükemmel sağlık hizmet desteği sağlamaya çalışacak, harekât alanı tıbbi güç koşullar altında hayatları kurtarmak için devam edecektir.

Afetlerde kurulan seyyar sağlık tesisleri stratejisi ise özeldir ve kısa dönemde geçici bir süre için değerlendirilir. Amaç afetten etkilenen topluma sağlık sistemi kurmak değil sadece bu topluma kendisini toparlayıncaya kadar sağlık hizmetleri açısından destek vermek olmalıdır. Kurulum kararında; yaratacağı muhtemel etkiler, sağlık sisteminde üstleneceği rol, öncelikli ihtiyaç değerlendirmesi, kaynak uygunluğu ve uygun strateji olup olmaması gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler iyi analiz edilip doğru planlandığında seyyar sağlık tesisleri afet alanında bir gerekliliktir.

Seyyar Sağlık Tesislerinde sunulan sağlık hizmetinin tüketimi raslantısaldır ve ikamesi yoktur. Sağlık hizmeti ihtiyacı ortaya çıkış nedenleri itibariyle ertelenemez. Ayrıca sunulan sağlık hizmetinin boyutu ve kapsamı hizmetten yararlanan tarafından değil sağlık personeli tarafından belirlenir. İhtiyaç anında eksikliği ya da yetersizliği de toplumsal sorunlara yol açabilir.

İmkânlar dahilinde öncelikli olarak sunulacak sağlık hizmetleri planlanması, organizasyonu ve sivil-asker iş birliği sunulan hizmetin kalitesine doğrudan etki eder. Bu nedenle hazırlık kapsamında yapılacak planlama faaliyetleri önem arz etmektedir. Bu kapsamda, lojistik faaliyetlerde proaktif olarak planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. North Atlantic Treaty Organization. NATO principles and policies of operational medical support. NATO Standardization Agreement 0326/4. 2018.
2. Joint Publication 4-02: Health Service Support. Washington, DC; 2012.
3. Emergency Solutions Italia. Mobile field hospital. Erişim adresi: <http://www.emergencysolutions.it/eng/index.php?page=32>
4. North Atlantic Treaty Organization. Allied Joint Medical Support Doctrine (AJP-4.10[A]). NATO; 2011.

KAHRAMANMARAŞ – PAZARCİK DENEYİMLERİ: OLAĞAN DIŞI KOŞULLARDA HEKİMLİK ÜZERİNE BİR TANIKLIK

Dr. Özge Şahbaz

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Hava ve Uzay Hekimliği AD.

1. GİRİŞ

6 Şubat 2023 tarihinde, merkez üssü Kahramanmaraş olan, sırasıyla 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde gerçekleşen iki büyük deprem, Türkiye'nin yakın tarihindeki en yıkıcı afetlerinden biri olarak kayıtlara geçmiştir. Depremler 11 ili doğrudan etkilemiş, on binlerce insanın hayatını kaybetmesine ve yüz binlerce kişinin yaralanmasına neden olmuştur (1). Bu büyük afet yalnızca fiziksel yıkıma değil, aynı zamanda sağlık sistemi üzerinde ciddi bir yük oluşmasına neden olmuş ve afet sürecinde sağlık çalışanları, sınırlı imkanlar ve yoğun hasta yükü altında görevlerini sürdürmek zorunda kalmıştır. Bu süreçte sıklıkla göz ardı edilen bir diğer önemli boyut, sağlık çalışanlarının maruz kaldığı psikolojik etkilenimlerdir. Literatürde afetlerin sağlık personeli üzerinde tükenmişlik, travma sonrası stres belirtileri ve duygusal zorlanmalar oluşturabileceği belirtilmektedir (2).

Bu bölümde Kahramanmaraş depremleri sonrasında sahada görev alan bir hekim olarak gözlemlerimi aktarırken, olağan dışı koşullarda hekimliğin yalnızca tıbbi değil, aynı zamanda insani ve psikolojik bir mücadele alanına dönüştüğünü ortaya koymayı amaçlamaktayım.

2022 yılında Rize Tıp Fakültesi'nden mezun oldum. Anestezi asistanlığına başladım. Ancak yaşadığım zorluklar ve içsel sorgulamalar sonucunda bu yolu bırakıp, ilk görev yerim olan Kayseri Şehir Hastanesi Acil Servisi'ne geri döndüm. Depremi Kayseri'de, ailemle birlikte yaşadım. Fiziksel yıkım sınırlıydı ancak içimizdeki sarsıntı çok daha büyüktü. Depremden yaklaşık on gün sonra gönüllü olarak Pazarcık'a gittim. Bu yazı, yaşananların bir özeti değil; olağan dışı koşullarda hekimliğin neye dönüştüğünü anlatmaya çalıştığım bir tanıklıktır.

2. DEPREM SAHASINDA İLK KARŞILAŞMA

Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesine gittiğimde deprem henüz bitmemişti. Artçı sarsıntılar devam ediyordu. O bölgedeki binaların hasar durumu ve tekrarlayan artçı sarsıntılar nedeniyle çadırlarda kalmak daha güvenliydi. Geceleri çadırda kalırken gündüzleri hasarlı hastane binasında çalışmak zorunda kalıyorduk. Hava çok soğuktu ve ilk günlerde ısıtıcı yoktu. Yere battaniye serip uyumaya çalışıyorduk. Ancak bu uyku gerçek bir uyku değildi. Tekrar deprem olacağı kaygısı sürekli içimizdeydi ve bu durum dinlenme anlarında dahi zihinsel bir tetikte olma hâline yol açıyordu.

Hastanede yalnızca acil servis çalışıyordu. Diğer katların hasarlı olması binanın içinde bulunmayı güven verici olmaktan çok tedirginlik artırıcı bir duruma dönüştürüyordu. 2010 Şili depremi sonrası yapılan bir bilimsel çalışmada da aynı şekilde hastanelerin önemli bir kısmında yalnızca acil hizmetlerin sürdürülebildiği bildirilmiştir (3). Benzer şekilde, 1999 Marmara Depremi sonrasında sağlık tesislerinde hizmet kapasitesinin belirgin şekilde azaldığı rapor edilmiştir (4). Bu süreçte sahada karşılaştığım koşullar, sağlık hizmetinin yalnızca tıbbi değil, aynı zamanda insanı bütüncül olarak etkileyen bir süreç olduğunu açıkça ortaya koyuyordu.

3. ÇALIŞMA KOŞULLARI

Bölgede toplam on gün görev yaptık. Bu süre içinde yaklaşık 2000 hasta değerlendirildi. Çalışma saatlerimizin belirli olmaması, görev tanımlarının gün içinde değişebilmesi ve afet ortamının getirdiği süre belirsizliği, yalnızca fiziksel yorgunluğu değil, psikolojik yükü de artırıyordu. Bu koşulların afet sonrası sağlık çalışanlarında anksiyete, depresyon, tükenmişlik ve travma belirtilerinde artış ile ilişkili olabileceği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (5).

Çalışma düzeni çoğu zaman standart nöbet sistemlerinin dışındaydı. Bazı günler 16 saate varan kesintisiz çalışma sürelerinin ardından sınırlı dinlenme araları veriliyor, bazı günlerde ise bu süreler değişkenlik gösteriyordu. Dinlenme süreleri ve görev dağılımları çoğu zaman anlık ihtiyaçlara göre şekilleniyordu. Temel yaşam koşulları oldukça sınırlıydı. Temiz suya erişim kısıtlıydı ve içme suyu dahi zaman zaman zor temin ediliyordu. Bu durumun ileri günlerde gelişebilecek salgın hastalıklara sebebiyet vereceğini tahmin ediyor ve olabildiğince dikkatli davranmaya çalışıyorduk. Beslenme çoğunlukla gönüllüler ve resmi yardım kuruluşları tarafından sağlanan sıcak yemek, çorba

ve içeceklerle mümkün oluyordu. Sağlık hizmet sunumu da olağan sistemin dışına çıkmıŐtı. Elektronik sistemlerin aktif olmaması nedeniyle reçeteler standart Şekilde dzenlenemiyor, çoğu zaman kağıt üzerine yazılan ilaç isimleri hastalara iletiliyordu. İlaç temini ise sahada kurulan geçici konteyner eczaneler üzerinden sağlanıyordu. Ayrıca baŐvurular yalnızca fiziksel hastalıklarla sınırlı değildi. Hastaların bir kısmı barınma ve güvenlik ihtiyacı nedeniyle sağlık kuruluşlarına yöneliyordu. Deprem sonrası süreçte, hastaların önemli bir bölümünde uyku bozuklukları, huzursuzluk ve sürekli tekrar eden deprem olacağına dair yoğun kaygı hissi dikkat çekmekteydi. Bu nedenle yalnızca psikolojik destek değil, semptomlarını hafifletmeye yönelik farmakolojik tedavi talep eden hasta baŐvuruları da gözlenmekteydi.

4. SAğLIK ÇALIŞANLARI ÜZERİNDEKİ PSİKOLOJİK ETKİLER

Afet durumlarında sağlık çalışanlarının yoğun stres ve travma belirtileri yaŐayabildiėi literatürde bildirilmiştir (5,6). Bireysel olarak sahada gözlemlediğim en belirgin durum ise, sağlık çalışanlarının kendi duygularını geri plana atarak görevlerini sürdürmek zorunda kalmalarıydı. Bu durum, psikolojik yükün çoğu zaman görünmez kalmasına neden olmaktadır.

Deprem anını doğrudan yaŐamamıŐ olmama rağmen, o gece nöbetçi olan meslektaŐlarımın aktardıkları, sahadaki kaos ve sağlık çalışanları üzerindeki yükü açık biçimde ortaya koymaktaydı. Bu durum, afet sonrası süreçte sağlık alıŐanlarında yoğun stres tepkileri ve psikolojik etkilenim geliŐebileceėini belirten literatür ile uyumludur (6).

Blėeye gittiğimde önceki ekiplerden bilgiler alıyordum. Çünkü en kısa zamanda adapte olmam ve görevime hızlıca baŐlamam gerekiyordu. Aldığım bilgilerde hastanelerin depreme bağlı olarak boŐaltıldıėı ancak ambulansların gelmeye devam ettiği ifade edilmiştir. Enkazdan ıkarılan hastalar, yaŐamını yitiren bireyler,.. En çok vurgulanan ise ifade “*yetiŐemedik*” olmuştur.

Deprem gecesi görevde olan bir hemşire, annesini aynı hastanede kaybetmesine rağmen görevine devam etmek zorunda kaldığna Őahit oldum. Bu durum, sağlık çalışanlarının yaşadığı duygusal yükü çarpıcı Şekilde ortaya koymaktadır.

Afet ortamının etkisi yalnızca hekimler ve hemŐirelerle sınırlı değildi; temizlik personeli gibi destek hizmetlerinde görev alan çalıŐanlar da benzer psikolojik yükü altında

görevlerini sürdürmekteydi. Bu durumu sahada görev yapan temizlik personelinin yaşadığı bir deneyim çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır. İlgili personel, kapalı alanların kendisinde yoğun bir sıkışmışlık hissi oluşturduğunu ve bu durumun nefes almakta zorlanma hissi ile birlikte seyrettiğini ifade etmiştir. Bu tablo, literatürde “algılanan sıkışmışlık” (perceived entrapment) ve kapalı alan ilişkili stres yanıtları ile tanımlanan psikolojik durumlarla uyumludur (7).

Bu süre zarfında beni derinden etkileyen bir yaşanmışlığı sizin ile paylaşmak istiyorum. Artçı sarsıntılar sırasında insanlar refleks olarak dışarıya yöneliyordu. Ancak bir süre sonra biz doktorlar hastalarımızı bırakıp dışarı çıkmamaya başladık. Hasta başında kalıyor, sarsıntının bitmesini hastayla birlikte orada bekliyorduk. Bu sırada dışarı çıkmadığımızı gören temizlik personeli Fatma abla, sarsıntı bittikten sonra yanıma geldi ve yaşadığı durumu paylaşmak istedi. O anki hâlini anlatırken, bulunduğu ortamın kendisinde derin bir rahatsızlık hissi oluşturduğunu ve bu durumun kendisini fazlasıyla zorladığını ifade etti. Dört duvarın insan üzerinde daraltıcı bir etkisi olduğunu söyledi. Deprem gecesi kendisinin üst katta, özel gereksinimli oğlunun ise alt katta bulunduğunu, fiziksel olarak birbirlerine ulaşamadıklarını ancak karşılıklı seslenerek iletişim kurabildiklerini belirtmiştir. Bu süreçte, birbirlerini görmeden yalnızca ses yoluyla iletişim kurarak hayatta kalmaya çalıştıklarını aktarmıştır. Ayrıca, bulunduğu ortamda cam bir açıklığı görebilmenin kendisi için belirgin bir rahatlama sağladığını ve bu görsel temasın nefes alabilme hissi ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Bu anlatım, afet sonrası süreçte yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda derin bir psikolojik etkilenim yaşandığını göstermektedir. Nitekim afetler sonrasında sağlık çalışanları ve destek personelinde akut stres tepkileri, anksiyete ve travma belirtilerinin artabildiği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (5,8).

5. SONUÇ

Sonuç olarak, bu deneyim bana şunu öğretti:

“Sağlık çalışanları afetlerde yalnızca hizmet sunan değil, aynı zamanda doğrudan etkilenen bireylerdir”.

Dayanıklılık, korkmamak değildir. Dayanıklılık, korkarken de orada kalabilmektir.

Ve bazen...

bir insanın yanında kalabilmek, iyileşmenin en güçlü adımıdır.

KAYNAKLAR

1. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). *6 Şubat Depremleri Durum Raporu*. Ankara: AFAD Yayınları; 2023.
2. Shultz CH, Forbes D. Psychological first aid: rapid proliferation and the evidence. *Disaster Health*. 2014;2(1):3-12. doi:10.4161/dish.26014
3. Kirsch TD, Mitrani-Reiser J, Bissell R, et al. Impact of the 2010 Chile earthquake on hospital functionality. *Prehosp Disaster Med*. 2010;25(6):491-499. doi:10.1017/S1049023X00008446
4. Türk Tabipleri Birliği. *6 Şubat Depremleri Sağlık Hizmetleri Değerlendirme Raporu*. Ankara: TTB Yayınları; 2023.
5. Inter-Agency Standing Committee (IASC). *Guidelines on Mental Health and Psychosocial Support in Emergency Settings*. Geneva: IASC; 2007.
6. Brooks SK, Webster RK, Smith LE, et al. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *Lancet*. 2020;395(10227):912-920. doi:10.1016/S0140-6736(20)30460-8
7. T.C. Sağlık Bakanlığı. *Olağan Dışı Durumlarda Sağlık Hizmetleri Yönetimi Rehberi*. Ankara: Sağlık Bakanlığı Yayınları; 2023.
8. Gilbert P, Allan S. The role of defeat and entrapment in depression: an exploration of an evolutionary model. *Psychol Med*. 1998;28(3):585-598. doi:10.1017/S0033291798006710
9. Kılıç C, Aydın İÖ, Taşkıntuna N, Özçürümez G, Kurt E, Eren E, et al. Predictors of psychological distress in survivors of the Marmara earthquake in Turkey. *Acta Psychiatr Scand*. 2006;114(3):194-202. doi:10.1111/j.1600-0447.2006.00787.x

ROL II SEYYAR SAĞLIK TEŞKİLLERİNDE TRAVMA YÖNETİMİ

Tbp. Bnb. Baki TÜRKOĞLU

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi,

Genel Cerrahi ve Harp Cerrahisi Kliniği

1. GİRİŞ

Olağan dışı koşullarda sağlık hizmeti sunumu, klasik sağlık sistemi organizasyonundan farklı olarak zaman kısıtlılığı, kaynak sınırlılığı ve yüksek mortalite riski ile karakterize edilen özel bir tıbbi yaklaşım gerektirir. Özellikle savaş ortamları, kitlesel yaralanma olayları ve afetler gibi durumlarda sağlık hizmetlerinin temel amacı definitif tedavi değil, yaşamı tehdit eden patolojilerin hızlı kontrolü ve hastanın ileri tedavi basamaklarına ulaştırılabilecek fizyolojik stabiliteye getirilmesidir. Bu yaklaşım modern askeri travma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır (1).

Askeri sağlık sisteminde yaralı bakımının sürekliliğini sağlamak amacıyla sağlık hizmetleri kademeli bir yapı içerisinde organize edilmiştir. Sağlık Bakanlığı'na bağlı teşkiller 1 ila 3. basamak arasında numaralandırılır. Fakat Millî Savunma Bakanlığı, birçok uluslararası askeri sağlık organizasyonuna da uyumlu şekilde, 4 rol seviyesi tanımlanmıştır. Bu kademeli yapı, yaralıların mümkün olan en kısa sürede uygun sağlık basamağına ulaştırılmasını ve her aşamada ihtiyaç duyduğu tıbbi bakımın sağlanmasını hedeflemektedir:

- Rol-1: Yaralanma noktasına en yakın seviyede temel yaşam desteği, ilk triyaj ve acil müdahaleleri kapsar. Bu basamakta amaç, yaşamı tehdit eden durumların hızlıca kontrol altına alınması ve hastanın ileri basamağa güvenli şekilde sevk edilebilmesidir.
- Rol-2: İleri cerrahi kapasite ve sınırlı süreli hasta tutma özelliklerine sahip mobil tedavi unsurlarıdır ve bu bağlamda hasar kontrol resüsitasyonu ve cerrahisinin uygulandığı ilk ileri basamaktır. Bu seviyede temel hedef, kanama kontrolü ve fizyolojik stabilizasyonun sağlanarak hastanın ileri tedaviye hazırlanmasıdır.
- Rol-3: Daha geniş cerrahi branşların bulunduğu, yoğun bakım olanaklarının gelişmiş olduğu ve daha uzun süreli hasta takibinin yapılabildiği hastanelerdir. Bu basamakta hastalara daha kapsamlı cerrahi girişimler uygulanabilir ve komplikasyonların yönetimi mümkün hale gelir.
- Rol-4: Ülke içi sabit hastanelerde definitif tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinin yürütüldüğü en ileri sağlık hizmeti seviyesini temsil etmektedir. Bu aşamada hastaların uzun dönem tedavi, rekonstrüksiyon ve fonksiyonel iyileşme süreçleri planlanır.

Bu bölümde, Rol-2 sağlık teşkilllerinde uygulanan resüsitasyon ve cerrahi yaklaşımları organizasyonel ve klinik perspektiften incelenmektedir.

2. ROL-2 SAĞLIK TEŞKİLLERİNİN OPERASYONEL FONKSİYONU

Rol-2 sağlık teşkilleri, ileri konuşlandırılmış cerrahi unsurlar olarak savaş alanına mümkün olduğunca yakın konuşlandırılan ve yaşam kurtarıcı cerrahi girişimleri gerçekleştirebilen mobil sağlık tesisleridir. Bu tesislerin temel amacı definitif tedavi değil, hastanın hayatta kalmasını sağlayacak minimal gerekli cerrahi ve resüsitatif girişimleri gerçekleştirmektir. Bu nedenle buralarda tanısal süreçler çoğunlukla hızlı karar vermeyi destekleyen yöntemlere dayanmaktadır. Travmada sonografi ile odaklanmış değerlendirme (FAST ultrasonografi), direkt grafiler ve hızlı laboratuvar analizleri bu basamakta en sık kullanılan yöntemlerdir.

Bu kapsamda Rol-2 tesislerde gerçekleştirilen işlemler; Hasar kontrol resüsitasyonu, hasar kontrol cerrahisi, acil laparotomi ve torakotomi, vasküler kontrol (ligasyon / geçici şant), ekstremitte cerrahisi (fasyotomi / amputasyon), masif transfüzyon protokolü, kısa süreli yoğun bakım desteği, ileri basamağa sevk hazırlığı olarak özetlenebilir. Rol-2 tesislerde entegre bir cerrahi ekip bulunması yeterli kabul edilmekte ve ileri tanısal imkanların sınırlı olması bu tesislerin temel karakteristik özelliklerinden biri olarak tanımlanmaktadır (2). Modern savaş deneyimleri, özellikle erken cerrahi müdahale kapasitesine sahip ileri konuşlu sağlık unsurlarının mortaliteyi belirgin şekilde azalttığını göstermiştir. Bu konuda en güncel ve geniş tabanlı çalışmalar ABD'nin Irak ve Afganistan savaşlarında yapılmış ve Rol-2 tesislerin yaygın konuşlandırılması ve yaralıların erken hasar kontrol cerrahisine ulaştırılmasının sağkalım üzerinde belirgin iyileşme sağladığı gösterilmiştir (3).

Askeri sağlık sistemlerinde tahliye organizasyonu hasta sağkalımını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Yaralıların uygun sağlık tesisine en kısa sürede ulaştırılması mortaliteyi azaltmaktadır ve bu durum hem Rol-2 sağlık tesisine, hem de buradan daha üst basamaklara yapılacak tahliyeler için geçerlidir. Tıbbi tahliye sistemleri yalnızca transport sürecini değil aynı zamanda transport sırasında verilen tıbbi bakımı da içeren kompleks bir sağlık hizmeti ağıdır. Bu süreçte hastaların hemodinamik stabilizasyonu, ventilasyon desteği ve kan ürünü replasmanı sağlanmaktadır. Bu sistemin etkinliği sağlık tesislerinin doğru konumlandırılması ve doğru hasta yönlendirilmesi ile yakından ilişkilidir (4). Ayrıca modern çatışma deneyimleri, özellikle Ukrayna savaşında, Rol-2 ve benzeri ileri sağlık tesislerinin savaş alanından uzak konuşlandırılması durumunda mortalitenin artabileceğini göstermiştir. Bu

durum erken cerrahi müdahalenin hayatta kalma üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır (5).

3. ROL-2 TESİSLERDE HASAR KONTROL RESÜSİTASYONU

Aslında bir gemicilik terimi olan “hasar kontrol”, bir geminin darbe veya hasar almasının ardından, geminin batmasına neden olacak sorunların hızlıca saptanması ve ilk etapta sadece bu sorunlara çözüm bulunarak diğer müdahalelerin daha iyi şartlarda yapılmak üzere ertelenmesine verilen addır. Bu terim 40 yıl kadar önce travma alanına uyarlanmış ve hastanın hayatını kaybetmesine sebep olabilecek sorunlara odaklanması gerekliliğini ifade etmek için kullanılmaya başlanmıştır (6). Hasar kontrol resüsitasyonu, ağır travmalı hastalarda gelişen ölümcül triadın (hipotermi, asidoz ve koagülopati) önlenmesini amaçlayan multidisipliner bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım erken kanama kontrolü, dengeli transfüzyon, kristaloid kısıtlaması ve hızlı cerrahi müdahale prensiplerini içermektedir (7).

Hasar kontrol resüsitasyonunda temel bileşenlerinden biri kristaloid sıvı kullanımının sınırlandırılmasıdır. Aşırı kristaloid uygulamasının dilüsyonel koagülopatiyi artırdığı, hipotermiyi derinleştirdiği ve travma mortalitesini olumsuz etkilediği gösterilmiştir (8). Ayrıca erken ve dengeli kan ürünü kullanımı hasar kontrol resüsitasyonunun temel taşlarından biridir. Eritrosit, plazma ve trombositlerin dengeli oranlarda verilmesi koagülopati gelişimini azaltmakta ve sağkalımı artırmaktadır (9).

Hasar kontrol resüsitasyonunun bir diğer önemli bileşeni permisif hipotansiyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşım özellikle kontrol altına alınmamış kanamalarda agresif sıvı resüsitasyonundan kaçınılmasını ve hedef kan basıncının fizyolojik olarak tolere edilebilir minimum seviyede tutulmasını önermektedir (10).

Bunların dışında, traneksamik asit uygulaması da modern travma resüsitasyonunun standart bileşenlerinden biri haline gelmiştir ve erken uygulanmasının mortaliteyi azalttığı kanıtlanmıştır (11). Ayrıca travma hastalarında erken dönemde masif transfüzyon ihtiyacının öngörülmesi resüsitasyon planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Erken dönemde kullanılan travma skorum sisteminin masif transfüzyon ihtiyacını öngörmeye etkili olduğu gösterilmiştir (12).

4. ROL-2 TESİSLERDE HASAR KONTROL CERRAHİSİ VE İLERİ UYGULAMALAR

Hasar kontrol resüsitasyonunun temel basamaklarından biri olan hasar kontrol cerrahisi, fizyolojik rezervleri tükenmekte olan hastalarda uzun süren definitif cerrahi işlemlerden

kaçınılarak yaşamı tehdit eden durumların hızlı şekilde kontrol edilmesini amaçlayan aşamalı bir cerrahi stratejidir. Bu yaklaşım ilk olarak penetran abdominal travmalarda uygulanmış, daha sonra torasik, vasküler ve ekstremitre travmalarını da kapsayacak şekilde genişlemiştir ve üç temel aşamadan oluşmaktadır: Kanamanın kontrolü, kontaminasyonun sınırlandırılması ve gerekiyorsa geçici kapatma (7,13).

Rol-2 tesislerde yapılan cerrahi girişimler genellikle kısa süreli ve yaşam kurtarıcı niteliktedir. Bunlar arasında acil laparotomi, torakotomi, amputasyon, vasküler ligasyon, packing uygulamaları ve fasyotomi yer almaktadır. Ayrıca ekstremitre yaralanmalarında erken ve agresif debridman, enfeksiyon riskini azalttığı ve fonksiyonel sonuçları iyileştirdiği gösterilmiş bir uygulamadır (3).

Abdominal yaralanmalarda geçici kapatma teknikleri Rol-2 tesislerde sık kullanılan bir yaklaşımdır. Açık karın uygulaması özellikle fizyolojik olarak instabil hastalarda tekrar değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Modern askeri travma yaklaşımında cerrahi kontrol ile resüsitasyonun eş zamanlı yürütülmesi önerilmektedir. Bu yaklaşım koagülopatinin önlenmesinde kritik rol oynamaktadır (8).

Son yıllardaki çatışma deneyimleri Rol-2 tesislerin önemini daha da ortaya koymuştur. Özellikle Ukrayna savaşında hava üstünlüğünün bulunmaması nedeniyle tahliye sürelerinin uzaması Rol-2 ve benzeri ileri sağlık tesislerinin önemini artırmıştır (5). Bu deneyimler aynı zamanda kan ürünlerine ileri seviyede erişimin önemini de ortaya koymuştur. Taze tam kan uygulamaları ve ileri sahada kan temini gibi yaklaşımlar modern savaş tıbbında yeniden önem kazanmıştır. Gelecekte Rol-2 tesislerin etkinliğinin artırılması için teletıp uygulamaları, yapay zeka destekli karar sistemleri ve gelişmiş tahliye planlama algoritmalarının önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir (4).

5. SONUÇ

Rol-2 askeri sağlık teşkilleri modern askeri sağlık sisteminin en kritik bileşenlerinden biridir. Bu tesisler erken resüsitasyon, hasar kontrol cerrahisi ve stabilizasyon kapasitesi ile savaş alanı mortalitesini azaltan temel sağlık unsurlarıdır. Modern travma yaklaşımı fizyolojik stabilizasyonu anatomik onarımın önüne koymaktadır. Bu paradigma değişimi Rol-2 tesislerin önemini daha da artırmıştır.

Rol-2 tesislerin etkinliği doğru konuşlandırma, eğitilmiş personel, yeterli lojistik destek ve etkin tahliye organizasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Bu tesislerin geliştirilmesi yalnızca askeri operasyonlar için değil, afet tıbbı ve sivil travma organizasyonları için de önemli bir

model oluşturmaktadır. Rol-2 tesislerin etkinliğinin artırılması için lojistik optimizasyon, kan ürünü erişimi ve ileri teletıp desteklerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. NATO Allied Joint Doctrine for Medical Support (AJP-4.10). Erişim adresi: <https://www.gov.uk/government/publications/allied-joint-medical-support-doctrine-ajp-410>
2. Ünlü A, Cetinkaya RA, Ege T, Ozmen P, Hurmeric V, Ozer MT, vd. Role 2 military hospitals: results of a new trauma care concept on 170 casualties. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 01 Nisan 2015;41(2):149-55. doi:10.1007/s00068-014-0472-x
3. Maddry JK, Araña AA, Mora AG, Schauer SG, Reeves LK, Cutright JE, vd. Management of Combat Casualties during Aeromedical Evacuation from a Role 2 to a Role 3 Medical Facility. *Mil Med.* 01 Mayıs 2024;189(5-6):e1003-8. doi:10.1093/milmed/usad404
4. Biswas S, Turan H, Elsayah S, Richmond M, Cao T. The future of military medical evacuation: literature analysis focused on the potential adoption of emerging technologies and advanced decision-analysis techniques. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology.* 2025;22(3):279-308. doi:10.1177/15485129231207660
5. Lawry LL, Korona-Bailey J, Kanagaratnam A, Maddox J, Hamm TE, Janvrin M, vd. Qualitative assessment of point of injury to Role 2+ combat casualty care in Ukraine. *Trauma Surg Acute Care Open.* 25 Haziran 2025;10(2):e001674. doi:10.1136/tsaco-2024-001674 PubMed PMID: 40575542; PubMed Central PMCID: PMC12198803.
6. Rotondo MF, Schwab CW, McGonigal MD, Phillips GRI, Fruchterman TM, Kauder DR, vd. "Damage Control": An Approach for Improved Survival in Exsanguinating Penetrating Abdominal Injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* Temmuz 1992;33(1):161.
7. Leibner E, Andreae M, Galvagno SM, Scalea T. Damage control resuscitation. *Clin Exp Emerg Med.* 31 Mart 2020;7(1):5-13. doi:10.15441/ceem.19.089
8. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Duranteau J, Filipescu D, Hunt BJ, vd. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Critical Care.* 27 Mart 2019;23(1):98. doi:10.1186/s13054-019-2347-3
9. Holcomb JB, Tilley BC, Baraniuk S, Fox EE, Wade CE, Podbielski JM, vd. Transfusion of Plasma, Platelets, and Red Blood Cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 Ratio and Mortality in Patients With Severe Trauma: The PROPPR Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 03 Şubat 2015;313(5):471-82. doi:10.1001/jama.2015.12

10. Smith JB, Pittet JF, Pierce A. Hypotensive Resuscitation. *Curr Anesthesiol Rep.* 01 Eylül 2014;4(3):209-15. doi:10.1007/s40140-014-0064-7
11. Shakur H, Roberts I, Bautista R, Caballero J, Coats T, vd. Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet.* 2010 Jul 3;376(9734):23-32. doi: 10.1016/S0140-6736(10)60835-5. Epub 2010 Jun 14. PMID: 20554319.
12. Türkoğlu B, Karakaş B, Yar MD, Tezcan HM, Tunç MV, vd. Prediction of massive transfusion and mortality in early trauma care: A retrospective analysis of scoring systems. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2025 Nov;31(11):1109-1118. doi: 10.14744/tjtes.2025.52643. PMID: 41392841; PMCID: PMC12782695.
13. Douglas M, Obaid O, Castanon L, Reina R, Ditillo M, Nelson A, vd. After 9,000 laparotomies for blunt trauma, resuscitation is becoming more balanced and time to intervention shorter: Evidence in action. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* Eylül 2022;93(3):307. doi:10.1097/TA.0000000000003574