

Üst Ekstremité Protezleri

Upper Limb Prosthetics

Bilge YILMAZ,^{a,b}
Serdar KESİKBURUN^{a,b}

^aFiziksel Tıp ve Rehabilitasyon AD,
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Gülhane Tıp Fakültesi,
^bFiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği,
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Gaziler Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon
Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
Ankara

Geliş Tarihi/Received: 17.12.2016
Kabul Tarihi/Accepted: 19.10.2017

Yazışma Adresi/Correspondence:
Bilge YILMAZ
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Gaziler Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon
Eğitim Araştırma Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği,
Ankara, TÜRKİYE
bilgeyilmaztr@hotmail.com

ÖZET Üst ekstremité amputasyonlu hastalara önerilebilecek protez seçenekleri arasında pasif ya da kozmetik restorasyon amaçlı kullanılan protezler, geleneksel vücut gücüyle çalışan sistemler ve sofistike myoelektrik kontrollü protezler yer almaktadır. Bu derlemede üst ekstremité protez seçenekleri, birbirleri arasındaki farklar ve hastaya uygun protez seçiminden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Üst ekstremité; amputasyon; rehabilitasyon

ABSTRACT The prosthetic options for patients with upper limb amputations include passive or cosmetic restorative prosthetics, conventional body-powered systems and sophisticated myoelectric controlled prosthetics. This review will mention about upper limb prosthetic options, differences between them, and how to prefer a posthetics suitable for patients.

Keywords: Upper extremity; amputation; rehabilitation

Üst ekstremité amputasyonlu hastalara önerilebilecek protez seçenekleri arasında pasif ya da kozmetik restorasyon amaçlı kullanılan protezler, geleneksel vücut gücüyle çalışan sistemler ve sofistike myoelektrik kontrollü protezler yer almaktadır. Bazı hastalar özellikle erken hasta rehabilitasyon sürecinde sağlanan kötü tasarlanmış protez cihazına bağlı olarak protez kullanmaktan vazgeçebilir. Bu nedenle hem fonsiyonel olması hem de vücut imajı düşünülerek üst ekstremité amputasyonlarında protez seçimi önemlidir.

PASİF PROTEZLER VE RESTORASYONLAR

Pasif protezler dirseği aktif olarak konumlandırma ya da aktif olarak kavrama ve bırakma yeteneğine sahip olmayan sistemlerden oluşmaktadır. Özellikle her iki elin kullanıldığı işlevleri yerine getirmede objelere destek olmak ve nesneleri stabilize etmek için kullanılırlar. Özellikle konjenital defektleri olan küçük çocuklar için son derece işlevseldir.^{1,2} Bu sistemler en sık kendi kendine süspansiyon tasarıma sahiptir Süspansiyon ya özel soket arayüz geometrisi veya emme negatif basınç ile elde edilir. Terminal cihaz olarak lateks ya da silikondan üretilen gerçekçi bir el kullanır. Kozmetik lateks eldiven daha uygun maliyetli bir seçenektir. Ancak lateks kolay lekelenir ve ultraviyole ışıktaki bozulur. Maliyeti daha yüksek olan silikon el ise daha gerçekçidir, daha dayanıklıdır ve yüksek sürtünme etkisi ile daha sıkı kavramayı sağlar (Resim 1). Operasyonel mekanik parçaların olmaması nedeniyle hafif protezlerdir.



RESİM 1: Silikon el ve parmak protezi.

KONVANSİYONEL VÜCUT KUVVETİ İLE ÇALIŞAN SİSTEMLER

Bu protezler, istemli omuz ve kol hareketleri ile terminal cihazı ya da protez dirseği kullanmak için kontrol kablo sistemi kullanırlar.³ Hasta terminal cihazın kavrama-bırakma hareketi ya da ön kolun hareketi için spesifik stratejiler kullanılmalıdır. Glenohumeral eklemler hareketi konvansiyonel protezin kontrolünde ana etmendir. Skapular protraksiyon (abdüksiyon) aracılığıyla ek hareketler elde edilebilir. Bu ikincil hareketler, iyi eğitilmiş hastalarda terminal cihazın daha fonksiyonel kullanımını sağlar. Birçok protez kullanıcısı başının üstünde veya aşağı ayaklara yakın kavramak ve bırakma görevlerini içeren görevlerde önemli zorluklar yaşarlar. Bu fonksiyonel kısıtlılıklara rağmen, konvansiyonel protezler güvenilir ve dayanıklı sistemlerdir.

8 ŞEKLİ HARNES SÜSPANSİYON

Tüm konvansiyonel vücut kuvveti ile çalışan protezlerin temeli harnes (koşum) sistemidir. Harnes sistem hem kontrol kablolarına sağlam bir destek noktası sağlar hem de sağlam bir süspansiyon aracıdır. Genelde sekiz şekilli harnes kullanır (Resim 2). Sekiz şekilli harnes her iki omuza asılarak giyilir. Karşı omuza kontrol kablosu ve ampute tarafa anterior süspansiyon bileşeni iliştilir. Sekiz şeklinin merkezini yedinci servikal vertebranın hemen altına konumlandırması önerilir.³ Harnes malzemeleri sıklıkla deri ve plastik bileşenlerden üretilir. Protezde kendinden süspansiyonlu soketler kullanılırsa, harnesin ağırlığını azaltmak için sadece kontrol kablosunu içeren karşı taraf omuz askılı sistemler de mevcuttur. Transradial amputasyonlu bireylerde ise terminal cihazın kontrolü için tek kontrol kablosu kullanılır (Resim 3). Bu hastalarda ampute tarafa konan triseps

manşonu, kontrol kablosunun önkol ile bağlantısı için uygun konumlanmasını sağlar.

PROTEZ DİRSEK VE TERMİNAL CİHAZIN KONTROLÜ

Transhumeral amputasyonlu hastalar çift kablo sistemine ihtiyaç duyarlar. Ön kablo dirsek mekanizmasının açılmasını ve kilitlenmesini kontrol eder. Arkadaki uzun kablo ise dirsek kilitli iken terminal cihazı kontrol ederken, dirsek kilitli değilken protez ön kolun hareketini sağlar (Resim 4).⁴

Çoğu dirsek mekanizmalarının tam ekstansiyondan fleksiyona birden çok kilitleme pozisyonları vardır. Kilitleme mekanizması en sık hızlı ve güçlü omuz fleksi-



RESİM 2: Sekiz şekilli harnes.



RESİM 3: Konvansiyonel transradial amputasyon protezi.



RESİM 4: Konvansiyonel transhumeral amputasyon protezi.

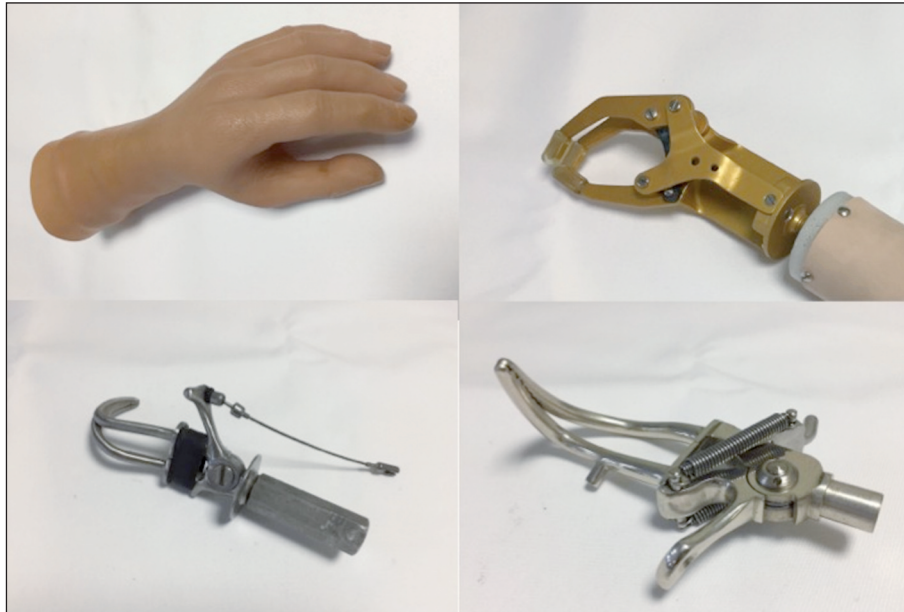
yonu ve abdüksiyonu kullanılarak aktive edilir. Dirsek mekanizması kilitli olduğunda, anterior kabloya uzanan bu aşağı hızlı ve geri hareket kilidi serbest bırakır. Posterior kabloyu etkileyen omuz fleksiyonu ya da skapular protraksiyon ise protez önkolu konumlandırır. Önkol, eli kullanmak için istenilen pozisyona gel-

diğinde, tekrar hızlı aşağı ve geri hareket kilidi yeniden etkinleştirir. Dirsek mekanizması kilitlendikten sonra, kablo kontrol teminal cihaza aktarılır, ve sonraki omuz fleksiyonu ya da protraksiyonu protez kanca ya da eli çalıştırır.

KONVANSİYONEL PROTEZLER İÇİN TERMİNAL CİHAZLAR

Konvansiyonel protezler için en sık kullanılan terminal cihazlar “kanca” ve “el”dir (Resim 5).³⁻⁵ Bu cihazlarda istemli açılma sistemi (terminal cihaz istirahatte kapalı, kullanıcı kablo aracılığıyla eli açar) ya da istemli kapatma sistemi (terminal cihaz istirahatte açık, kullanıcı kablo aracılığıyla açar) bulunur. Her iki sisteminde güçlü ve zayıf yanları vardır.

İstemli açılan terminal cihazlarda kabloda istemli kuvvet ve ileti uygulanarak (omuz fleksiyonu ve abdüksiyonu kullanılarak) cihaz açılır. Gerim kablo sisteminde serbest bırakıldıktan sonra, kavranan nesne cihazda tuzaklanır. Kavrayıcı kuvvet yay veya elastik bant gibi bir dış kapatma mekanizması tarafından belirlenir. Kabloda gerim oluşturmak ve sürdürmek için mutlaka kullanıcının yeteneğine uygun olmalıdır. Kavrama gücü kullanılan elastikler ve yayların sayısına göre belirlenir ve sabittir. Ağır ve kırılğan nesneleri tutarken uygulanan güç istemli olarak değiştirilemez. Kavrama gücü için doğru kombinasyonu bulmak ve farklı günlük fonksiyonel görevler için kullanıcının motor kontrolü ayarlaması zor olabilir.⁶



RESİM 5: Terminal cihazlar.

İstemli kapanan terminal cihazlarda, kullanıcı tarafından sağlanan istemli kuvvet ile terminal cihaz açık pozisyondan kapalı pozisyona getirilir.⁷ En önemli avantajı tutulan nesnenin özelliklerine göre uygulanan kapatıcı kuvvetin kademeli olarak ayarlanabilmesidir.⁸ Hasta terminal cihazdaki nesneyi tutmak için uyguladığı kuvveti sürdürmek zorundadır. Transhumeral amputasyonlu hastalar için genellikle önerilmezler. Bu hastalarda önkolun pozisyonlaması da istemli kuvvet ile gerçekleştirildiğinden, aynı anda kademeli kavrama kuvveti uygulaması zorlayıcıdır.

HARİCİ GÜÇ KAYNAKLI SİSTEMLER

Harici güç kaynaklı sistemlerin ortak notası bir batarya taşımalarıdır. Batarya teknolojisi son 10 yılda ciddi gelişmeler gösterdi. Lityum-Lityum İyon bataryalar, hem hafif olduğundan hem de yüksek akım sağlayabildiği için, aktif protez kullanıcıları artık protezini tek bir şarjla bir günden fazla kullanabilmektedir.⁸

Bataryanın dışında, harici güç kaynaklı protezlerin çok az ortak özelliği vardır. Elektriksel terminal cihazlı (TD) komponentleri olanlarda, kancalar, eller ve özel geliştirilmiş çalışma araçları olmak üzere çok çeşitli formlar mevcuttur. Bu cihazlar, elektriksel dönüştürücüleri kullanarak kaybolan supinasyon ve pronasyonun etkili bir şekilde yerini alabilir. Elektronik dirsek mekanizmaları da kullanılmaya başlanmıştır. Bu mekanizmalar dirsek eklemine fleksiyon ve ekstansiyon sağlar. Bununla birlikte omzun internal ve eksternal rotasyonlarını sağlamak daha zordur.

Harici güç kaynaklı bileşenlerin kontrolünü sağlayacak input cihazına karar verme süreci kompleksdir. Mevcut motor güçlerin tam olarak değerlendirilmesi, ROM'ları, elektromyografik sinyalleri, güdük uzunluğu ve cilt bütünlüğü göz önünde bulundurulmalıdır.⁹

MYOELEKTRİK KONTROL SİSTEMLERİ

Agonist ve antagonist bir dizi kasın iki bağımsız sinyalinin varlığından yararlanır. Kullanıcı kasılma şiddetinin miktarıyla yeni sinyalleri aktive edebilir. Transradial güdükleri olanlar için elektrotlar genellikle ön kolda güdüğün fleksör kaslarının (terminal aracın kapanması) ve ekstansör kaslarının üzerine (terminal aracın açılması) konumlandırılır.¹⁰ Birçok hasta yeterli eğitimle ve bu kas gruplarının bağımsız kasılmasıyla daha da gelişmiş kontrol sağlayabilirler. Elektrot seçiminde güdük ucunda sunulan yumuşak doku miktarı, skar dokusunun varlığı ve materyal dikkate alınmalıdır. Birçok kompo-



RESİM 6: Transradial amputasyon için myoelektrik kontrollü protez.

nent büyük veya küçük, hızlı veya yavaş olan kasılmaları yorumlar ve ardından kas ile orantılı ve koordineli şekilde protez cevabını oluşturmak için myoelektrik bölgenin altında kalan cihazı çalıştırır. Bu kademeli kontrol hastaya son derece hassas şekilde hız ve kavrama gücü sağlar. Antagonist kasların iyi gelişmiş bağımsız kontrolü de mod seçimi için bir önkoşuldur. Bu farklı kas grupları, kas aktivitesiyle bağımsız başka görevlerde de kullanılır. Örneğin transradial myoelektrik protez kullanan birçok hasta, el ve el bileği üniteleri arasında geçiş yapmak için güdük ucundaki ön kol kaslarının eş zamanlı ve hızlı (ko-kontraksiyon) kasılmasını kullanır (Resim 6). Ayrıca transhumeral protezi olanlar için omuz fleksörlerinin ve ekstansörlerinin ko-kontraksiyonları, elektronik dirsek ve el arasında geçiş yapma kontrolünü sağlar. Hastalar eğitimin başında bunu gerçekleştirmede zorlanırlar.

Eğer efektif myoelektrik kontrol, amputasyondan hemen sonra hasta için çok zorsa (veya ko-kontraksiyon problemlerinden dolayı uygunsuzsa), geçiş (switch) kontrolü için alternatif bir işletim aracı olarak elektriksel komponentler kullanılabilir. Geçiş kontrol myoelektrik sensörler gerektirmez. Geçiş kontrol sistemleri tetiklemek için küçük bir hareket gerektirir. Bu durum; terminal cihazı çalıştırmak, kilitlemek veya protez dirseğin kilidini açmak için daha büyük kablo gerektiren erken postoperatif araçlardan çok daha fonksiyoneldir.¹¹ Geçiş kontrolün gerektirdiği kısa mesafe ve hafif kuvvet, sınırlı ROM'u olan veya sınırlı gücü olan bireyler için protez kullanımını mümkün kılar. Erken postoperatif kullanılmalarına ek olarak geçiş kontrol, nihai protezlerde de kullanılabilirler. Çoğu geçiş kontrolü bir kablo veya kayışı çekerek aktive olsa da, bazı uygulamalarda bir kola veya düğmeye basılarak aktive edilirler. Bu kontrolde elektrikli komponentlerin orantılı bir kontrol sağlayamaması sınırlayıcı bir faktör olarak görülebilir.

ELEKTRİKLİ TERMİNAL CİHAZLAR

Elektrikli terminal cihazlar arasında en yaygın olanı elektrikli ellerdir.¹² El protezleri, konjenital ekstremit

defektli küçük çocuklardan travmatik amputasyonlu yetişkinlere kadar bir çok boyutta mevcuttur. Çoğu el baş parmak ve yanındaki diğer iki parmağın kavrama paternini “üç çeneli kavrama” kullanır. Kalan dördüncü ve beşince parmaklar pasif olarak hareket eder. Bu yüksek fonksiyonlu kavrama paterninde, aktif kavrama baş parmakla ikinci ve üçüncü falanks arasında oluşturulur. Bilek fleksiyon potansiyeline sahip terminal cihazlar, hastaya daha da gelişmiş kavrama becerisi sağlayabilir. Harici güç kaynaklı dirsek komponentleri de mevcuttur.¹³ Elektromekanik el boyalı silikon dış yüzey uygulanmasıyla mükemmel kozmetik sonuçlar elde edilebilir.

Terminal cihazlı harici güç kaynaklı protezlerin çoğunluğunu eller oluştursa da, yüksek fonksiyonlu başka terminal cihazlar da mevcuttur. Bu cihazların, taşınabilir mendeneye benzer araçlardan, elektrikli bir kancanın fonksiyonu gören terminal cihazlara kadar geniş bir aralığı vardır. Terminal cihaz seçimi kullanıcı fonksiyonelliği göz önüne alınarak (kolay çıkarılabilme gibi) yapılmalıdır.

ÇİFT KONTROL STRATEJİLERİ

Mikroişlemci kontrolü, hastaların bireysel ihtiyaçlarını gidermede kolaylık sağlamaktadır.¹⁰ Harici güç kaynaklı transhumeral protez kullanan bir birey için geleneksel kontrol stratejisi, bicepsin EMG sinyallerini yakalayacak bir myoelektrot ve trisepsin üzerinde ikinci bir elektrodu içerir. Her iki sinyalin yeterli amplitüd ve farklılıkta olduğunu varsayarsak, iki cihazın -bir elektrikle çalışan dirsek ve bir elektrikle çalışan terminal cihaz- myoelektrik kontrolü elde edilebilir. Bir objeyi kavramak için hastanın bicepsini kasmasıyla, bicipsten gelen EMG sinyali dirsek fleksiyonunu yaptırmaya ayalanmıştır. Bu fizyolojiye uyan uygulama biceps amputasyondan öncekine benzer bir şekilde kullanmayı sağlar. Ön kol ve dirsek istenen pozisyona ulaşana kadar sinyal sürekli sağlanmaktadır. Önceden belirlenmiş süre bo-

yunca dirsek bu durumda (maksimal fleksiyonda) tutulduğunda mekanizma kilitlenebilir. Sonra sistem aynı EMG sinyallerini kullanarak terminal cihazın (el) kontrolüne döner. En yaygın kullanılan kombinasyon eli açmak veya dirseği uzatmak için triseps kontraksiyonu ve eli kapatmak veya dirsek fleksiyonu için biceps kasılmasıdır.

HEDEF KAS REİNNERVASYONU (BİYONİK PROTEZLER)

Hedef kas reinnervasyonu ileri derece myoelektrik üst ekstremite protezleri için üstün kontrol yeteneği sağlamaktadır.¹⁴ Myoelektrik kontrol sistemine uyarı sağlayacak hedef kas dokusunda (pektoral kas, biceps vb.) fizyolojik yolağa uygun olarak periferik sinirlerin cerahi ile yeniden reinnervasyonu yapılır. Aynı anda farklı fonksiyonları opere edilebildiği için, konvansiyonel myoelektrik protezlere göre çok daha gelişmiş protez hareket kabiliyeti vardır. Hastaya olmayan ekstremitesindeki benzer şekilde duyuşsal geri besleme sağlar. Özellikle proksimal üst ekstremite amputasyonlarında fonksiyonelliği arttırmak adına büyük potansiyele sahiptir.

HİBRİD PROTEZLER

Bazı bireyler için konvansiyonel ve harici güç kaynaklı sistemlerin teknolojiyle entegrasyonu fonksiyonel sonuçlar için büyük potansiyel sunmaktadır. Protez sistemleri, elektrikle çalışan dirsek + vücut kuvveti kaynaklı mekanik terminal cihaz şeklinde veya, elektrikle çalışan terminal cihaz + fonksiyonel olmayan dirsek şeklinde yapılandırılabilir. Hibrid sistemler sıklıkla tercih edilir. Çünkü yeterli alan ve güç olmamasına rağmen çalışmaya olanak sağlar. Bu sık subluksasyona karşı savunmasız unstabil bir eklem veya omuz dezartikülasyonu olabilir. Güdük ucundaki kas dokusu daha proksimal bir tutulum olmasına rağmen yeterli EMG sinyali oluşturabilirse, terminal cihazın myoelektrik kontrolü elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Baumgartner RF. Upper extremity amputation and prosthetics. *J Rehabil Res Dev* 2001; 38(4):vii-x.
2. González-Fernández M. Development of upper limb prostheses: current progress and areas for growth. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95(6):1013-4.
3. Lake C, Dodson R. Progressive upper limb prosthetics. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2006;17(1):49-72.
4. Smith DJ, Michael JW, Bowker JH, eds. *Atlas of Amputation and Limb Deficiencies*. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2004.
5. Resnik L, Meucci MR, Lieberman-Klinger S, Fantini C, Kelty DL, Disla R, et al. Advanced upper limb prosthetic devices: implications for upper limb prosthetic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93(4):710-7.
6. Frey DD, Carlson LE, Ramaswamy V. Voluntary opening prehensors with adjustable grip force. *J Prosthet Orthot* 1995;7(4):124-30.
7. Clinical application of roll-on sleeves for myoelectrically controlled transradial and transhumeral prostheses. *J Prosthet Orthot* 2000;12(3):88-91.
8. DeVisser H, Herder JL. Force-directed design of a voluntary closing hand prosthesis. *J Rehabil Res Dev* 2000;37(3):261-71.
9. Sears HH. Approaches to prescription of body powered and myoelectric prostheses. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 1991;2(2):1047-51.
10. Spiegel SR. Adult myoelectric upper limb prosthetic training. In: Atkins DJ, Meier RH, eds. *Comprehensive Management of the Upper Limb Amputee*. New York: Springer-Verlag; 1989.
11. Berbrayer D, Farraday WT. Switch-activated electrically controlled prosthesis following a closed head injury: a case study. *J Prosthet Orthot* 1994;6(2):48-51.
12. Miguelez JM. Critical factors in electrically powered upper extremity prosthetics. *J Prosthet Orthot* 2002;14(1):36-8.
13. Williams TW. Use of Boston elbow for high level amputees. In: Atkins DK, ed. *Comprehensive Management of the Upper Limb Amputee*. New York: Springer Verlag; 1989. p.211-26.
14. Kuiken T. Targeted reinnervation for improved prosthetic function. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2006;17(1):1-13.