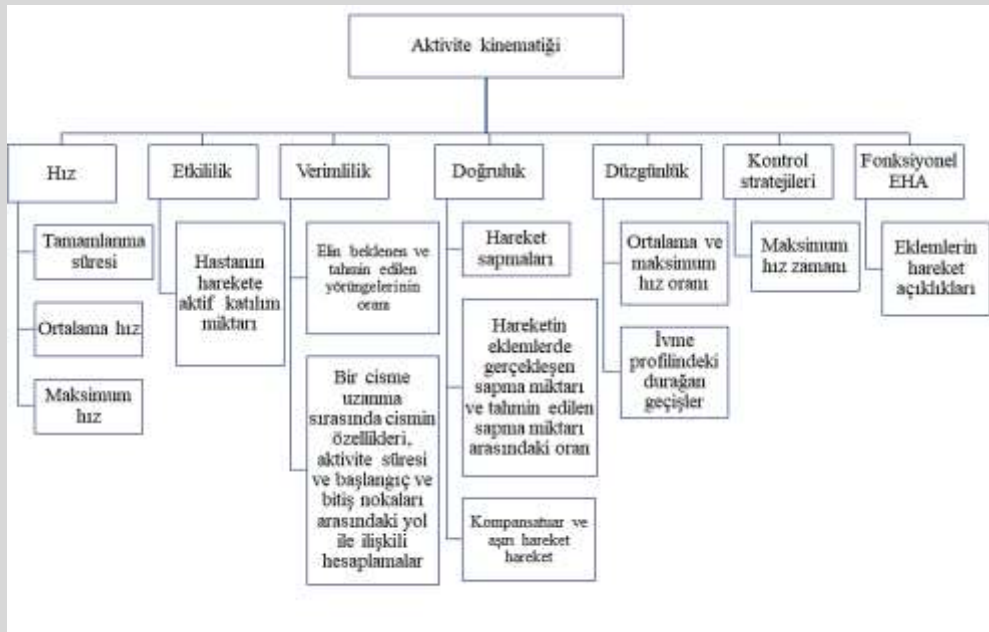


Nörolojik Rehabilitasyonda Kullanılan Hareket Analizi Yöntemleri

Aktivite ve katılım kısıtlılıklarına sebep olan nörolojik problemlerin objektif yöntemlerle değerlendirilebilmesi, bireyin fonksiyonel bağımsızlık düzeyinin doğru tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda aktivitenin kinetik ve kinematik özellikleri, birçok teknolojik yöntemle değerlendirilmektedir.

Hareket analizinin temel kavramı olan kinematik, harekete sebep olan kuvvetlerle ilgilenmeden, hareketin açısal ve zamanla ilişkili değerlerinin tanımlanmasıdır. Kinematiğin ilgi alanı; hareketin açısal ve doğrusal yer değiştirmesi, hızı ve ivmesi gibi değişkenleri arasındaki ilişkileri inceler (1, 2). Bütün bu sayısal değişkenlerin; fizyoterapi ve rehabilitasyon alanındaki karşılığı ise, normal ve anormal hareket paternlerinin ayrımıdır. Bu doğrultuda patolojik hareketin; hızı, etkililiği, verimliliği, doğruluğu, düzgünlüğü, eklem hareket açıklığı ve motor kontrol stratejilerinin tespiti kinematik analizle mümkün olabilmektedir (3). Normal aktiviteye yönelik kinematik göstergeler Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Normal Aktivite Kavramına Yönelik Kinematik Göstergeler

Teknolojinin gelişmesi ile literatürde birçok farklı kinematik analiz yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, uygulama prensipleri ve kullanılan materyallerin özelliklerine şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Dijital Video Kayıt Sistemleri ve Analiz Yazılımları
- Optik Kayıt Sistemleri
- Fotosensitif Hücreler ve Aktif Sensörler İçeren Sistemler
- Manyetik Tabanlı Kayıt Sistemleri
- Mekanik Eklemler ve Dış İskeletler
- Eylemsizlik Ölçüm Birimleri (IMU)

Dijital Video Kayıt Sistemleri ve Analiz Yazılımları

Hareket analizi yapmanın en kolay kolu yüksek çözünürlükte ve/veya yüksek hızda kayıt özelliğine sahip dijital bir kamera ile hareketin video kaydını yapmaktır. Çeşitli ticari yazılımlar (ProTrack, Kinovea) kullanılarak, video kaydı üzerinden; hareketin manuel veya otomatik etiketleme işlemleriyle hareket yörüngelerini takip etmek ve eklem açılarına ve mesafe ile ilgili parametrelere ulaşmak mümkün olmaktadır. Video kayıt işlemi sırasında birden fazla kamera kullanılarak, farklı düzlemlerdeki kinematik değişimlerin takibi yapılabilmektedir (2, 4).

Dijital video kayıt sistemleri ve analiz yazılımlarının avantajları, uygulama sırasındaki kolaylık ve ucuzluktur. Fakat; bu yöntemle karmaşık hareketlerin değerlendirilmesi zordur ve ölçüm sonuçlarının doğruluğu, etiketleme işlemi yapan kişinin tecrübesine ve referans noktalarının doğru belirlenmesine bağlıdır. Analiz sürecinin uzun sürmesi ise, bu sistemlerin önemli bir dezavantajıdır (2).

Optik Kayıt Sistemleri

Optik kayıt sistemleri, ölçüm yapılacak bireyler üzerine "marker" adı verilen belirteçlerin yerleştirilmesini gerektirmektedir. Marker veya belirteçler yansıtıcı bir materyalle kaplıdır. Ölçüm yapılacak alana yerleştirilmiş kameraları çevreleyen diyotlar, belirteçler üzerine kırmızıdan kızılötesine kadar farklı dalga boylarında belirli aralıklarla ışınım yapar. Kameraların mercekleri üzerine yerleştirilmiş bir filtre aracılığıyla, kameralar sadece belirli dalga boylarındaki görüntülere duyarlı hale gelir ve bu sayede kameraların sadece markerları algılaması sağlanır (Resim 1.). Minimum iki kamera ile elde edilen

görüntüler, özel yazılımlarla birleştirilir. Birleştirme işleminin sonunda ise, belirteçlerin genel konumu belirlenerek görüntü analize hazır hale gelmektedir (2).



Resim 1. Optoelektronik Kameralar ve Ölçüm Alanları

Günümüzdeki sistemler, görüntü birleştirme işlemini, kayıt ile eş zamanlı yapılmasına ve belirtece yönelik görüntü hassasiyetinin 3000 kata kadar çıkarılmasına olanak sağlar (2) (Resim 2.). Optik sistemler, yüksek geçerlilik ve güvenilirlikleri ile literatürde altın standart olarak kabul edilmektedir. Optik sistemlerin en önemli dezavantajları ise, ölçümler için geniş bir laboratuvara ihtiyaç duyulması, kinematik özellikleri değerlendirilecek bireylerin ölçüm protokollerine araştırmacılar tarafından hazırlanma süreçlerinin uzun olması ve diğer kinematik analiz yöntemlerle kıyaslandığında çok daha pahalı olmalarıdır (3, 5).



Resim 2. Biyomekanik Modelleme ve Görüntü İşleme Süreci

Fotosensitif Hücreler ve Aktif Sensörler İçeren Sistemler

Işığa duyarlı hücreler ve aktif sensörler içeren sistemler, farklı açılarda bulunan ve kızılötesi sinyal yayan sensörler ve aynı ölçüm alanında düzenlenmiş 3 adet ışığa duyarlı hücrenin senkronizasyonu ile hareketi kaydeder (Resim 3). 3 boyutlu koordinatların birleşimi gerçek zamanlı olarak yapılmaktadır. Bu sistemlerin kalibrasyon gereksiniminin olmaması,

uygulayıcılar için büyük avantaj sağlamaktadır. Çünkü, ölçüm ile ilgili sensörler bir kutuya sabittir ve ilk kurulum esnasında dinamik bir test pili aracılığıyla kalibre edilir (2).

Bu sistemlerin en önemli dezavantajları, aktif sensörlerin elektriksel bir güç kaynağına ihtiyaç duymasıdır. Elektriksel güç kaynağı ve sensörler, vücut üzerine kablolar ile birlikte yerleştirilmektedir ve bu durum hareket kapasitesini engelleyebilmekte ve analiz protokollerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (2).



Resim 1. Fotosensitif Hücreler ve Aktif Sensörler İçeren Sistemler

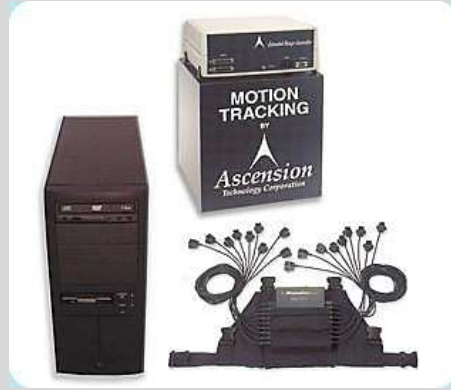
Manyetik Kayıt Tabanlı Sistemler

Manyetik yakalama sistemleri, dikey eksenlerde elektromanyetik bir alan oluşturan, bir alıcı ve manyetik alanın yayılımını bozan sensörler üzerine kuruludur (Resim 4). Her sensör ve alıcı arasındaki potansiyel farklılıklar hem konum hem de yön bilgilerinin gerçek zamanlı olarak hesaplanmalarını sağlar (2).

Manyetik yakalama sistemlerinin, diğer bütün kinematik analiz sistemlerine göre avantajı tek bir sensör ile 6 serbestlik derecesine (bir hareketin uzaydaki konumunu ifade edebilmek için gerekli olan eksen ve düzlem sayısı) erişmesidir. Literatürde altın standart olarak kabul edilen optik sistemlerin 6 serbestlik derecesini elde edebilmesi için, her vücut segmentinde 3 adet hizalanmış belirteci konumlandırmak gereklidir (2).

Fotosensitif hücreler ve aktif sensörler içeren sistemlerde olduğu gibi, sensörlerin otomatik olarak tanınması kalibrasyon kolaylığı sağlar. Algılayıcı konumu ile ilgili elde edilen doğruluk; fotosensitif hücreli-aktif sensörler içeren sistemlere göre yaklaşık 1 milimetreye kadar daha düşüktür. Manyetik yakalama sistemlerinin dezavantajı ise, ölçümler

esnasında her türlü metal eşya ölçüm alanında manyetik bozunmaya sebep olur ve sistemi kullanılamaz hale getirir (2, 5).



Resim 2. Manyetik Kayıt Tabanlı Sistemler

Mekanik Eklemler ve Dış İskeletler

Ekzoskeleton (dış iskelet) olarak da adlandırılan mekanik eklemler aracılığıyla kayıt gerçekleştiren sistemler, askeri ve tıbbi amaçlarla üretilen cihazlar olmalarına rağmen yapılarında bulundukları kod çözümleyicilerle kinematik analiz yapabilmektedirler (2, 6).

Analiz edilecek vücut bölümlerinin etrafında bulunan dış iskelet, mekanik ölçüm fonksiyonlarını, her eklemden bulunan bir açısal kod çözümleyici aracılığıyla gerçekleştirir. Her eklemden bulunan kod çözümleyicilerin değişken konumu, birkaç yapay eklemlerle oluşturulmuş dış iskelete bağlıdır (Resim 5). Yapay eklemlerle oluşturulmuş, dış iskelet hareket özgürlüğünü kısıtlar ve dış iskeletin ağırlığıyla birey üzerinde fazladan bir yük oluşur. Dış iskeletin boyutu, analiz edilecek bireyin uzunluğuna morfolojisine uygun olmalıdır. Eklemlerdeki kod çözümleyicilerin, açısal bilgiyi doğru bir şekilde oluşturabilmesi için iskelet modellemesinin, morfolojik yapı ile uyumlu olması gereklidir (2, 5).

Günümüzdeki teknoloji ile dış iskeletler, her ortamda kullanılmaya uygun sistemler olmadıklarından, maliyetleri ve kullanım alanlarındaki farklılıklardan dolayı kinematik analiz için pek kullanışlı sistemler değildir (2).



Resim 3. Mekanik Eklemler Aracılığıyla Kayıt Gerçekleştiren Sistemler

Eylemsizlik Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Unit)

Inertial Measurement Unit (IMU) sistemler olarak literatürde tanımlanan eylemsizlik ölçüm birimli kinematik analiz sistemlerinin bünyesinde, üç eksenli bir akselerometre (ivme ölçer), rotasyon miktarlarını ölçen üç eksenli bir jiroskop ve bir manyetometre birlikte bulunur (2, 5, 7). Bu birliktelik sayesinde sensörün, üzerinde bulunduğu cismin dünyaya göre 3 boyutlu konumunu (oryantasyon) Euler açısı cinsinden çıktı olarak verebilmektedir. Bunun dışında içerisinde bulunan 3 ayrı algılayıcının varlığı sayesinde 3 boyutlu ivme, açısal hız ve manyetik alan gibi verilere de ulaşılmasını sağlamaktadır. Günümüzde kinematik analiz dışında; insansız hava araçları, uzay mekikleri, uydular gibi ileri teknolojiyi barındıran sistemlerde kullanılmaktadır (2, 7, 8).

IMU sensörlerinin kalibrasyonu için, ölçüm yapılacak bireyin başlangıçta bir referans pozisyonda olması gereklidir. Kalibrasyon süreci, sensörlerin eksenleri arasında bağlantı kurabilmek ve verilerin yorumlanmasına olanak sağlamak amacıyla yapılmaktadır (2). IMU sensörlerin; küçük boyutları, düşük maliyetleri, uygulama kolaylığı, kablosuz erişim özelliği ile harekete herhangi bir limit oluşturmaması ve dış alanlarda belirli mesafelerde ölçümler yapılabilmesi gibi birçok avantajı vardır. Elde edilen verilerin doğruluğu, bir dizi matematiksel işlem sürecindeki algoritmaların doğruluğuna bağlıdır (2, 8) (Resim 6).



Resim 2.4. Eylemsizlik Ölçüm Birimli Analiz Sistemleri

1. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement: John Wiley & Sons; 2009.
2. Chèze L, Chèze L. The Different Movement Analysis Devices Available on the Market. Kinematic Analysis of Human Movement: John Wiley & Sons, Inc.; 2014. p. 17-33.
3. de los Reyes-Guzmán A, Dimbwadyo-Terrer I, Trincado-Alonso F, Monasterio-Huelin F, Torricelli D, Gil-Agudo A. Quantitative assessment based on kinematic measures of functional impairments during upper extremity movements: A review. Clinical Biomechanics. 2014;29(7):719-27.
4. Hsieh J-W, Hsu Y-T, Liao H-YM, Chen C-C. Video-based human movement analysis and its application to surveillance systems. IEEE Transactions on Multimedia. 2008;10(3):372-84.
5. Gmitterko A, Lipták T. Motion capture of human for interaction with service robot. American Journal of Mechanical Engineering. 2013;1(7):212-6.
6. Powered Exoskeleton 2017 [Erişim Tarihi: 05 Kasım 2017]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Powered_exoskeleton.
7. Inertial Measurement Unit 2017 [Erişim Tarihi : 29 Ekim 2017]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit.
8. Roetenberg D, Luinge H, Slycke P. Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. Xsens Motion Technologies BV, Tech Rep. 2009;1.

TFD NÖROLOJİK FİZYOTERAPİ GRUBU

adına

Uzm. Fzt. Mert DOĞAN
tarafından hazırlanmıştır.

Uzm. Fzt. Mert DOĞAN
Hacettepe Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

www.norofzt.org