



# VİTALİTE TEST YÖNTEMİ OLARAK PULSE OKSİMETRİ VE LAZER DOPPLER FLOWMETRİ: DERLEME

## PULSE OXIMETRY AND LASER DOPPLER FLOWMETRY AS A VITALITY TEST METHOD: A REVIEW

Hüseyin KARAYILMAZ<sup>1</sup>, Zühal KIRZIOĞLU<sup>2</sup>

### ÖZET

Diş hekimliğinde bir tedavinin başarısını etkileyen en önemli faktör dişin vitalitesinin doğru belirlenmesidir. Fakat pulpanın vitalitesinin ve durumunun değerlendirilmesi karmaşık bir olaydır. Pulpa, kalsifiye dokularla çevrili bir alanda, tamamen kapalı durumdadır. Günümüz diş hekimliği kliniklerinde vitalite test metodu olarak, en fazla termal testlerden ve elektrikli pulpa testlerinden yararlanılmaktadır. Diş vitalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan bu metotlar, pulpal sinirlerin uyarılmasına dayalıdır ve pulpa kan akımı ile doğrudan ilgileri yoktur. Sübjektif olan bu testler, hastanın bir uyarana karşı verdiği cevabın diş hekimi tarafından değerlendirilmesi, yorumlanması esasına dayanmaktadır. Ayrıca, bu testler, bir çocuk için hoş olmayan uyaranlardır. Çocukların ağrıya olan korkusu, bu geleneksel pulpa testlerinin sınırlı olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geleneksel vitalite testlerini başlıca tanı ve tedavi aracı olarak kullanan diş hekimleri için, dişlerin pulpa patolojilerinin değerlendirilmesinde güvenilir sonuçlar verebilecek, yeni test metotlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, kan akımının tespitinde kullanılan ve invaziv olmayan Pulse Oksimetri ve Lazer Doppler Flowmetri metotlarının, pulpanın kanlanması ve vitalitesinin tespitinde de güvenle kullanılabileceği bildirilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Vitalite Test Metotları, Pulse Oksimetri, Lazer Doppler Flowmetri

### ABSTRACT

The vitality assessment of teeth is a crucial diagnostic procedure in the practice of dentistry. But it is complicated by the fact that the dental pulp is enclosed within calcified tissue. The most widely used traditional pulp vitality test methods are electric pulp testers and thermal stimulus. These methods are relying on stimulation of nerve fibers and given no direct indication of blood flow within the pulp. In addition, each of these methods is subjective tests and that depend on the patient's perceived response to a stimulus, as well as the dentist's interpretation of that response. And these methods have a potential to produce an unpleasant and occasionally painful sensation. Thus the reliability of these methods can vary and they are of limited use with children. Therefore it is important that to find a new diagnostic tool to assist in the diagnosis of teeth with pulpal pathosis and consequently to aid in their correct treatment.

Pulse Oximetry and Laser Doppler Flowmetry are non-invasive methods to measure blood flow, which have been recently introduced as a new method to diagnose pulp vitality in human teeth.

**Keywords:** Vitality Test Methods, Pulse Oximetry, Laser Doppler Flowmetry,

1. Dr. Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Ana Bilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE

2. Prof. Dr. Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Ana Bilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE

## 1. GİRİŞ

Diş hekiminin birincil görevi, hastadaki mevcut problemin, en kısa zamanda, en uygun tedavi araçları ile ve en doğru şekilde tedavisinin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Yapılan tedavinin başarısı, hastanın genel ve ağız diş sağlığının durumu, hekimin tecrübesi, tercih edilen tedavi yöntemleri, kullanılan aletler ve materyaller gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bir tedavinin başarısını etkileyen en önemli faktör, tanının doğruluğudur. Başarılı bir tedavi ancak, doğru bir tanı ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle diş hekimliğinde tanının doğruluğu ve uygun bir tedavinin seçilebilmesi için, dişin ana yapılarından biri olan, dentin yapıcı özelliği bulunan, dişin beslenmesini, savunmasını ve innervasyonunu sağlayan pulpanın durumunun kesin olarak bilinmesi gerekmektedir. Fakat pulpanın durumunun ve vitalitesinin değerlendirilmesi karmaşık bir olaydır. Pulpa, kalsifiye dokularla çevrili bir alanda, tamamen kapalı durumdadır. Herhangi bir şekilde hasar oluştuğunda, pulpada iltihabi cevap başlar. Bu cevabın bir parçası olarak vasküler geçirgenlik artar. Çevre dokulara sıvı geçişi olur. Ancak, birçok yumuşak dokunun tersine, pulpanın hacimce genişleyebileceği bir alan yoktur. Bu nedenle, hücre ölümü daha fazla olur. Kollateral dolaşımı da bulunmadığından, koronal pulpanın alternatif beslenme ve savunma yolları bulunmamaktadır. Diş hekimini tanı koyma sırasında, pulpa yaralanmasının geri dönüşümlü veya dönüşümsüz olduğuna karar verebilmelidir. Bu amaçla, teşhis ve tedavi planlaması sırasında pulpanın durumunu belirlemek için, çeşitli vitalite test yöntemleri geliştirilmiştir.<sup>1-5</sup>

Diş hekimliği kliniklerinde kullanılmakta olan geleneksel vitalite test yöntemleri şunlardır<sup>1-6</sup>;

- Doğrudan dentin uyarılması
- Kavite testi
- Anestezi testi
- Termal vitalite testleri
  - Sıcak testi
  - Soğuk testi
  - Kuru buz (CO<sub>2</sub> buzu) testi
- Elektrikli Pulpa Testi (EPT)

Bu testler, dışarıdan verilen bir uyarana (soğuk, sıcak, elektriksel vb.) karşı dişin, sinirsel olarak cevap

vermesine dayalı testlerdir. Ancak, geliştirilen bu testlerin birçok eksikliği bulunmaktadır. Bu testler ile, sadece pulpanın nöral durumu hakkında dolaylı bilgi elde edilebilmekte, dişin vasküler sirkülasyonu hakkında herhangi bir bilgi sağlanamamaktadır. Ayrıca travmaya uğramış dişlerde olduğu gibi, vasküler sirkülasyonun devam ettiği ama nöral incinmenin olduğu durumlarda, pulpadaki sinirlerin geçici parestezisinden dolayı, bu dişlerden, geleneksel vitalite test yöntemleriyle herhangi bir cevap alınamayacaktır. Tam tersi bir durum, iltihabi olaylarda söz konusudur. Pulpanın sinir dokusu, pulpa iltihabına vasküler dokuya nazaran daha dayanıklıdır. Böyle bir durumda da pulpada iltihabi olaylar başlamış olmasına karşın, canlı kalan sinir dokusu nedeniyle geleneksel vitalite testlerinden yanlış sonuçlar elde edilebilecektir.<sup>3,4,6-10</sup>

Geleneksel vitalite testlerinin başka bir eksikliği ise, subjektif olan bu testlerin, hastanın bir uyarana karşı verdiği cevabın diş hekimini tarafından değerlendirilmesi, yorumlanması esasına dayanmasıdır. Ancak, çocuklarda bu tür testlerin uygulanması zor olduğu için doğruluğu sınırlıdır. Çocuklar her zaman subjektif semptomları tarif edemeyebilir ve diş hekiminin sorduğu sorulara yanlış pozitif veya negatif cevaplar verebilir. Ayrıca, bu testler, bir çocuk için hoş olmayan uyarılardır. Çocukların ağrıya olan korkusu, bu geleneksel pulpa testlerinin sınırlı olmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle çocuk diş hekimliğinde hastaların değerlendirilmesinde ve takibinde çok büyük bir problemdir.<sup>3,4,6-10</sup>

Dişin vitalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan bu metotlar, pulpal sinirlerin uyarılmasına dayalı metotlardır. Pulpa kan akımı (PKA) ile doğrudan ilgileri olmadığından, pulpanın kanlanmasıyla ilişkili yorumları şüphelidir. Ancak, dişlerin vitalitesinin değerlendirilmesi sırasında, vaskülarite ve damarsal destek, sinirsel destekten daha önemlidir.<sup>6-10</sup>

Bu nedenle geleneksel vitalite testlerini başlıca tanı aracı olarak kullanan diş hekimleri için, olgunlaşmamış köklere sahip ve/veya travma geçirmiş dişlerin vitalitesinin değerlendirilmesinde, pulpanın vasküler sirkülasyonu hakkında güvenilir sonuçlar verebilecek, yeni test metotlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüz diş hekimliğinde, geleneksel vitalite testlerine alternatif olabilecek, pulpa patolojilerine veya semptomlarına göre dişin vaskülarizasyonu ve beslenmesi ile ilgili doğrudan bilgi verebilen yeni test metotları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu metotlar şunlardır<sup>5,6,8,10-16</sup>;

- **İntravital Mikroskopi**
- **Lokal İzotop Klerans**
- **Hidrojen Washout**
- **Sinematografi**
- **Radiolabelled Mikrosfer**
- **Fotopletismografi**
- **Dual Wavelength Spektrofotometri**
- **Kızılötesi Termografik Görüntüleme**
- **Transillüminasyon**
- **Pulse Oksimetri (PO)**
- **Lazer Doppler Flowmetri (LDF)**

Bu doku kanlanması ölçüm yöntemlerinin bir kısmı, invaziv tekniklerdir. Bazılarında ise radyoaktif madde kullanılmakta olup, devamlı dinamik bir ölçüm yapılamamaktadır. Büyük bir çoğunluğu ise halen deneysel oldukları, çok pahalı ekipmanlar gerektirdikleri ve bilgi işlem analizleri çok zor olduğu için, halen rutin klinik kullanıma girememiştir. Bu nedenle PKA ölçümlerini gerçekleştirmek için invaziv olmayan, biyolojik dokulara zarar vermeyen, kolay uygulanabilir, tekrarlanabilir ve sonuçlarına güvenilir tanı yöntemlerine ihtiyaç vardır.<sup>5,6,8,10-16</sup>

Bu prensipler göz önünde bulundurulduğunda, son yıllarda Pulse Oksimetri (PO) ve özellikle de Lazer Doppler Flowmetrinin (LDF) pulpanın kanlanmasının tespitine yönelik çalışmalarda ön plana çıktığı görülmektedir.<sup>5-11,13-16</sup>

## 2. PULSE OKSİMETRİ (PO)

PO, intravenöz anestezi sırasında, pratik olarak, kanın oksijen saturasyon (SaO<sub>2</sub>) seviyesini belirlemek amacı ile kullanılan SaO<sub>2</sub> görüntüleme cihazıdır (Şekil 1). İnvaziv olmayan bir yöntem olması nedeni ile tıbbın birçok alanında, klinik uygulamalarda çok sık kullanılan bir cihazdır. PO, özellikle ameliyathanelerde standart ekipmanlar arasında yer almasının yanı sıra, acil servislerde, yoğun bakım ünitelerinde, sedasyon ve analjezi uygulamalarında ve endoskopi odalarında rutin olarak kullanılan bir cihazdır. Tıbbın birçok alanında, bu kadar fazla kabul görmesinin en büyük nedeni, uygulamasının son

derece kolay ve pratik olması ve hastanın anlık durumu, vital bulguları hakkında hızlı, doğru ve net bilgiler sağlayabilme kapasitesinden kaynaklanmaktadır.<sup>6,8,11,14</sup>

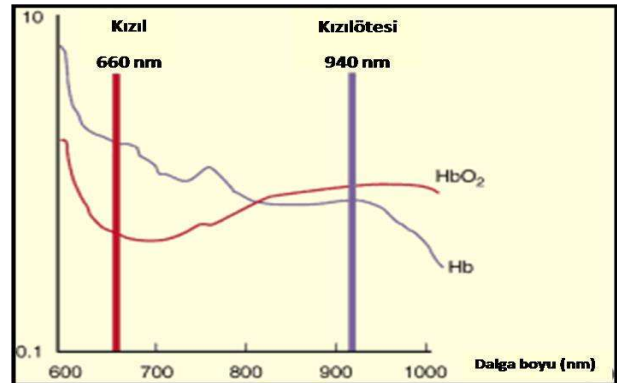


Şekil 1: Günümüzde kullanılmakta olan PO cihazları

### 2.1 PO'nun Fiziksel ve Yapısal Temelleri

PO, arteryal hemoglobinlerin oksijen saturasyonunun tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Kandaki oksihemoglobinlerin toplam hemoglobin miktarına oranının, yüzde olarak ifadesidir.<sup>17</sup>

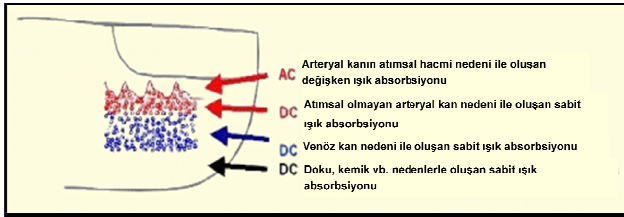
PO cihazının çalışma prensibi, Beer'ın "bir çözelti, konsantrasyon ve optik özelliklerine bağlı olarak, verilen belli dalga boyundaki bir ışığı absorbe eder" kuralının modifiye edilmesine dayanmaktadır.<sup>8,17</sup> Ayrıca, hemoglobinlerin, kızıl ve kızıl ötesi dalga boyundaki ışıkları absorbe edebilme karakterinin bilinmesi de, bu konuda yardımcı olmuştur. Kızıl bölgede oksihemoglobinler, deoksihemoglobine göre daha az ışık absorbe ederken, kızıl ötesi bölgede ise tam tersi bir olay söz konusudur. Bu nedenle, bir dalga boyundaki ışık, oksijenizasyondaki değişikliklere karşı hassas olurken, diğeri ise doku kalınlığındaki, hemoglobin içeriğindeki ve ışık yoğunluğundaki değişikliklere karşı duyarsız kalarak karşılık vermektedir.<sup>6,8,11,14,18</sup> (Şekil 2).



Şekil 2: Oksi ve deoksi hemoglobinlerin iki farklı dalga boyundaki ışık absorpsiyonları.<sup>17</sup>

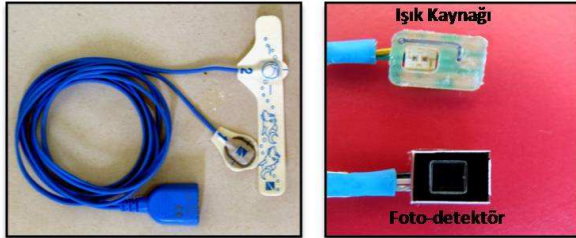
Vitalite Test Yöntemi Olarak LDF ve PO

Teknik olarak günümüzdeki PO cihazları, 660nm (kırmızı) ve 940nm (kırmızı ötesi) olmak üzere ışığın 2 dalga boyunu kullanır.<sup>17</sup> LED'ler tarafından gönderilen iki farklı dalga boyundaki ışık, damarlar içerisindeki kan atımından etkilenir ve foto-detektör tarafından algılanan ışık miktarında modifikasyonlara neden olur. Bu veriler atım oranının (nabız) belirlenmesinde kullanılır. SaO<sub>2</sub>'unu belirlemek için ise PO, kırmızı ötesi ışık ile kırmızı ışığın yayılma genişliklerini ölçer ve birbirlerine oranlar. Oksihemoglobin ve deoksihemoglobine ait nispi oranlardaki farklılıklar SaO<sub>2</sub>'nin belirlenmesini sağlar. Deri, kemik ve venöz kan akımı ölçüm yapılmasını engellemez.<sup>6,8,11,14,18,19</sup> (Şekil 3).



Şekil 3: Atımsal ve sabit ışık absorpsiyonu

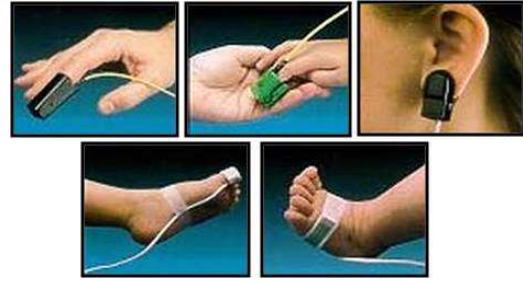
PO probunun, iki farklı dalga boyunda ışık yayabilen bir ışık kaynağı ve yansıyan ışınları toplayarak sinyal işlemciye aktaran bir foto-detektörden oluşan iki kısmı vardır (Şekil 4).



Şekil 4: PO probu ve propta bulunan ışık kaynağı ve foto-detektör

Işık kaynağı, perfüze olan, transillüminasyon gösteren, el veya ayak parmağı, kulak lobu gibi benzeri dokuların bir tarafına yerleştirilirken, foto-detektör ise dokunun diğer tarafına, ışık kaynağının tam karşısına gelecek şekilde yerleştirilmelidir.<sup>17</sup> (Şekil 5)

Uygulanacak kişinin, bebek, çocuk veya erişkin olmasına ve yerleştirilen dokunun anatomik ve fizyolojik özelliklerine göre, çok farklı tipte PO problemleri bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: Bebeklerde ve erişkinlerde kullanılan farklı prob tipleri

## 2.2 Diş Hekimliğinde PO

PO, diş hekimliğinde, sedasyon, genel anestezi ve reanimasyon uygulamaları sırasında ve operasyon sonrası hasta takibinde rutin kullanılan bir cihazdır. İnvaziv ve travmatik olmayan bir yöntem olan PO'nun, karakteristik özelliklerini inceleyen araştırmacılar, dişin vaskülarizasyonunun ve dolayısıyla pulpanın durumunun belirlenmesinde de kullanılabileceğini düşünmüşlerdir.<sup>8,11,13,14,18-24</sup>

PO, diş hekimliğinde tanı aracı olarak ilk kez, Schnettler ve Wallece<sup>18</sup> tarafından, 1991 yılında yayınlanan bir çalışmada kullanılmıştır. Kulak sensörünü modifiye ederek kullanan araştırmacılar, soğuk testine ve EPT'ye pozitif cevap alınan 44 dişte ve kontrol grubu olarak kanal tedavileri tamamlanmış 5 dişte gerçekleştirdikleri klinik ölçümlere ve histolojik çalışmalara dayanarak, pulpanın SaO<sub>2</sub>'nin ölçülebildiğini göstermişlerdir. Fakat PO'nun mevcut haliyle pulpa patolojilerinin tespitinde rutin olarak kullanılabilmesi için henüz erken olduğunu ve ileri çalışmalarla geliştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Yaptıkları bir *in vitro* çalışmada Schmitt ve ark.<sup>13</sup> ise, PO ile diş pulpasının SaO<sub>2</sub>'nu ölçmenin mümkün olduğunu ancak, dişin geometrik yapısından ve mevcut standart PO sensörünün yerleştirilmesinden kaynaklanan problemler nedeni ile pulpanın SaO<sub>2</sub>'nin tam olarak doğru ölçülemediğini ileri sürmüşlerdir.

Kahan ve ark.'ları<sup>20</sup> ise yeni bir prob tasarlamışlar ve tasarladıkları 10 gönüllü üzerinde klinik olarak test etmişlerdir. Probu diş üzerinde stabil durmasını sağlamak için ise modifiye ettikleri rubber-dam klempinden yararlanmışlardır. Yapılan çalışma sonunda araştırmacılar, dişlerden elde edilen SaO<sub>2</sub> verileri ile parmaktan alınan sistemik SaO<sub>2</sub> verileri arasında bir senkronizasyon olduğunu, fakat bunun

devamlı olmadığını bildirmişlerdir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için diş anatomisi göz önünde bulundurularak cihazın ve probun geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir.

PO'nun çalışma prensiplerini esas alan, "Optik Yansıma Metodu" adında yeni bir sistem geliştiren Oikarinen ve ark.<sup>19</sup>, yaptıkları ön çalışmada, vital ve vital olmayan dişlerin, gönderilen ışığı farklı oranlarda yansıttığını belirlemişlerdir.

Noblett ve ark.'ları<sup>14</sup>, çekilmiş alt çene azı dişlerinde hazırladıkları deneysel pulpa sirkülasyon modeli üzerinde, dişler için prefabrike olarak özel hazırlanan bir PO sensörünü, *in vitro* olarak test etmişlerdir. PO'dan elde edilen ölçümler ile kan gaz analiz sonuçları arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık olmadığını bildiren araştırmacılar, her iki veri arasında güçlü bir korelasyon bulunduğunu saptamışlardır.

Süt ve genç daimi dişler üzerinde gerçekleştirilen bir *in vivo* çalışmada ise, kulak için üretilen bir probun modifiye edilmesiyle geliştirilen prob ile gerçekleştirilen ölçümlerden, geleneksel vitalite testlerine göre daha güvenilir sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.<sup>11</sup>

Sağlıklı keser dişlere sahip 100 çocuk hasta ve kontrol grubu olarak daha önce kanal tedavisi yapılmış devital olduğu bilinen 10 diş üzerinde yaptıkları bir çalışmada Munshi ve ark.<sup>8</sup>, EPT ile PO sonuçları arasında negatif bir korelasyon bulunduğunu, yani EPT'den alınan değer arttıkça PO'dan alınan SaO<sub>2</sub> oranının azaldığını saptamışlardır. Bu çalışma sonunda araştırmacılar, PO'nun, özellikle çocuk hastalarda, vitalite test yöntemi olarak, EPT'nin yerine güvenli bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Bu konuda Gopikrishna ve ark.<sup>21-23</sup> 2006 ve 2007 yıllarında, birbiri ardına 3 çalışma gerçekleştirmişler ve PO'nun vitalite test yöntemi olarak güvenle ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Araştırmacıların çalışmaları, 15-40 yaşları arası 100 hastanın, klinik ve radyografik olarak sağlıklı, çürüksüz ve herhangi bir şekilde travmaya maruz kalmamış, üst çene orta keser, yan keser ve köpek dişlerinin vitalitesini, PO ile değerlendirmişler ve elde ettikleri sonuçları, kanal tedavisi yapılmış dişlerden oluşan kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır.<sup>21</sup> PO ile

kontrol grubundan herhangi bir sonuç elde edilemezken, üst çene keser dişlerinden ise dişlerin sağlıklı olduğuna işaret eden SaO<sub>2</sub> değerleri elde edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak, PO'nun vitalite test yöntemi olarak güvenilir sonuçlar verdiğini savunmuşlardır.

İkinci çalışmada ise, 80 adet, kanal tedavisi endikasyonu konulmuş, tek köklü keser, köpek ve küçük azı dişinin vitalitesi, soğuk testi (tetrafluoretanın pamuk pelete püskürtülmesiyle) EPT ve PO ile kontrol edilmiştir.<sup>22</sup> Vitalite testlerinin tamamlanmasını takiben, 80 dişin pulpa odaları açılarak, pulpaları klinik olarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonunda 42 dişin tamamen devital olduğu ancak, 38 dişin pulpasında ise kanama olduğu tespit edilmiş ve bu dişlerin pulpası vital olarak kabul edilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlara göre diğer geleneksel vitalite test yöntemlerine göre en objektif, en güvenli yöntemin PO olduğunu bildirmişlerdir.

Son çalışmalarında, çeşitli derecelerde travmaya maruz kalan ancak, pulpa açılması olmayan, farklı hastalardaki 17 dişin vitalitesini değerlendiren araştırmacılar, bu dişleri soğuk testi (tetrafluoretanın pamuk pelete püskürtülmesiyle) EPT ve PO ile 6 ay boyunca takip etmişlerdir.<sup>23</sup> Soğuk testi ve EPT ile, ilk 3 hafta süresince dişlerden herhangi bir sonuç alınamazken, 6. ay sonunda dişlerin %94.11'inden vital cevap alınabilmiştir. Ancak, araştırmacılar bu süre içerisinde ise PO ile tüm dişlerden vital bulgular elde edildiğini ve travmaya uğramış dişlerin vitalitesinin değerlendirilmesinde ve takibinde en güvenilir metodun PO olduğunu bildirmişlerdir.

Calil ve ark.'nın<sup>24</sup> 2008 yılında yayınlanan bir çalışmada, yaşları 26-38 arası değişen 17 hastanın, sağlıklı, üst çene 32 orta keser ve 32 köpek dişin vitalitesi PO ile değerlendirilmiştir. Kontrol grubu olarak kanal tedavisi tamamlanmış 10 adet diş kullanılmıştır. Araştırmacılar kontrol grubundan PO ile herhangi bir sinyal elde edemezlerken, orta keser ve köpek dişlerin ortalama SaO<sub>2</sub> seviyesinin %85 ile %96 arası değiştiğini belirlemişlerdir.

Dişin vitalitesinin değerlendirilmesinde, PO'nun avantajlarının yanı sıra birçok dezavantajının da bulunduğu bildirilmiştir. Mills<sup>25</sup> PO'nun başlıca dezavantajlarını, cihazın en ufak hareketten

etkilenmesi, diştten zayıf sinyal elde edilmesi, dişlere uygun özel bir prob tipinin bulunmaması ve prob ile diş arasında ışığın geçişini arttıracak özel bir jele ihtiyaç duyulması olarak sıralamıştır.

Bu konuda erişilebilir kaynaklardan elde edilen çalışmalar incelendiğinde, pulpanın vitalitesinin belirlenmesinde PO'nun güvenle kullanılabileceğine dair henüz bir fikir birliğinin bulunmadığı görülmektedir.

### 3. LAZER DOPPLER FLOWMETRİ (LDF)

LDF, mikro-vasküler sistemdeki ince kan damarlarında bile, doğrudan kan akımı ölçümü yapabilen, invaziv olmayan, elektro-optik bir yöntemdir. Dokuların kanlanması, kan akımının hızı, şiddeti ve damar genişliği bu teknikle incelenebilir. Seksenli yıllardan beri kullanılmakta olan bu yöntem, günümüzde, tıbbın birçok alanında çok yaygın bir tanı aracı olarak kullanılmasına karşın, LDF'nin henüz diş hekimliğindeki etkinliği sınırlıdır ve yöntemin, özellikle pulpanın kanlanmasının tespitinde güvenilir olduğuna dair bilgi birikimi henüz yeterli değildir. LDF'nin daha iyi anlaşılabilmesi için, öncelikle Lazerin ve Doppler olayının ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir.

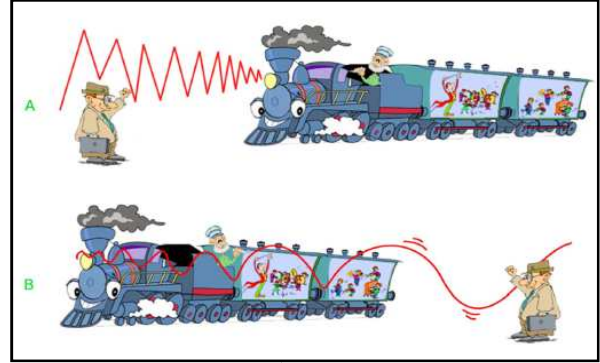
#### 3.1 Lazer

LAZER "Radyasyonun uyarılmış emisyonu ile ışığın güçlendirilmesi" anlamına gelen, "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir terimdir.<sup>26</sup>

İlk defa 1900'lerin başlarında formüle edilen lazerin kavramsal temelini, Einstein'ın "yayılmı stimüle edilmiş radiant enerji" isimli makalesi oluşturmaktadır. Kırk yıl sonra, Amerikalı fizikçi Townes, ilk defa mikrodalga frekanslarının gücünü, stimüle edilmiş radyasyonla artırarak, kısa adıyla MASER'i (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) tanımlamıştır. Schawlow ve Townes, MASER prensibini, elektromanyetik alanın optik kısmına uyarlamalarını takiben Maiman, yaklaşık elli yıl önce, yakut bir apeareyle çalışan ilk lazeri yapmayı başarmıştır.<sup>26,27</sup>

Lazer apeareyi, elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürür. Lazer ışınları, uygulanacakları bölgeye ya doğrudan ya da ışını geçirebilen fiberler yardımı ile dolaylı olarak gönderilebilirler. Lazer ışınları,

koherent (dalga boylarının fazları zaman ve yön açısından aynı), monokromatik (tek renkli ve aynı enerjiye sahip), ve kollime (birbirine paralel) ışınlardır. Lazer ışınları kollime ışınlar olduklarından, birbirlerinden ayrılmadan çok uzak mesafelere ulaşabilirler.<sup>26-28</sup>



Şekil 6: Doppler kaymasının genel ifadesi

#### 3.2 Doppler Kayması

Doppler kayması, Johann Christian Doppler isimli Avusturyalı bir fizikçi tarafından, 1842 yılında tanımlanan bir gözlemdir. Doppler etkisi, kaynak ve gözlemci arasında bir hareket varsa ortaya çıkar. Harekete bağlı olarak gözlenen frekansın, kaynak frekansından farklı olması sonucu oluşur. Eğer kaynak ile gözlemci birbirine yaklaşıyorsa gözlenen frekans artar, tersi durumda ise azalır.<sup>5,10,28,29</sup> Başka bir ifadeyle, sabit frekansla ses veren hareketli bir kaynak yaklaştıkça daha tiz, uzaklaştıkça daha pes işitilir. Aynı olay kaynak sabit, detektör hareketli olduğunda da gözlenir. Ses frekansındaki harekete bağlı bu değişime doppler kayması denir.<sup>5,10,26,28,29</sup> (Şekil:6)



Şekil 7: Günümüzde kullanılmakta olan LDF cihazları

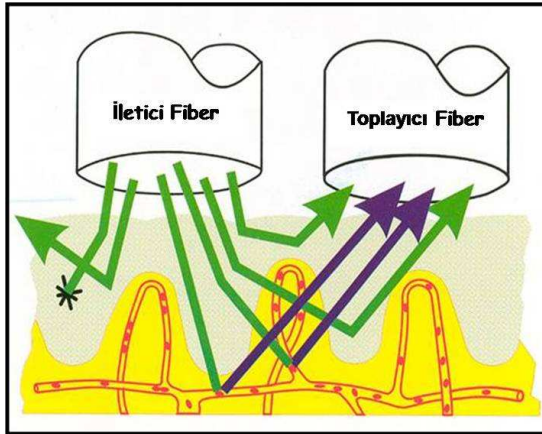
#### 3.3 Lazer Doppler Flowmetri (LDF)

LDF tekniği, son otuz yıldır mikro-vasküler kan perfüzyon ölçümünde kullanılmaktadır. Klinik olarak mikro-vasküler kan perfüzyonunun ölçümünde, hassas, gerçek zamanlı, devamlı ve invaziv olmayan bir metot eksikliğinde, LDF bu boşluğu doldurmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 7).

LDF metodu, doppler kaymasından yararlanılarak, doku kan akımının, sürekli ve invaziv olmayan ölçümü amacıyla kullanılan bir tekniktir. LDF cihazının 4 ana yapısı vardır.<sup>5,10,15,16,29</sup>

- Lazer ışın kaynakları
- Fiber optik düzen
- Fotodetektörler
- Sinyal işlemci

Lazer ışın kaynağı olarak güçlü monokromatik lazer ışını kullanılır ve lazer ışını hedef dokuya bir prob aracılığı ile ulaştırılır. Ölçüm probu içerisinde, ışını dokuya taşıyan verici fiber ve dokudan geri saçılan ışınları, foto-detektöre taşıyan toplayıcı fiber ya da fiberler bulunmaktadır (Şekil 8). Işın demeti proba dokuya iletildiğinde, ışının bir kısmı dokuda absorbe olurken, büyük bir kısmı dokudan yansır. Işığı yansıtan statik nesnelere dalga boyunu değiştirmezken, ışığı yansıtan hareketli kan hücreleri doppler kaymasına neden olurlar. Fotodetektör tarafından algılanan ve Doppler kayması nedeniyle frekansı değişen ışın demeti sinyalleri oluşturur. Sinyal işlemci tarafından bu sinyallerden elde edilen değerler “perfüzyon”, “volt”, “flow” veya “flux” olarak tanımlanır.<sup>5,10,15,16,29</sup>



Şekil 8: Işını dokuya taşıyan “iletici fiber” ve dokudan geri saçılan ışınları, foto-detektöre taşıyan “toplayıcı fiberin” görünümü

Ölçüm derinliği, genellikle doku yüzeyinin altında, yüzey ışığının penetre olduğu ve yüzeye geri dönebildiği derinliğin, yaklaşık 2/3'lük kısmı olarak tarif edilir. Ölçülen derinlik, kapiller yatağın yapısı ve yoğunluğu gibi doku özelliklerine, ışığın dalga boyuna ve probdaki fiberler arası uzaklığa bağlıdır. Ayrıca, lazerin dalga boyu kısaltıkça, penetrasyon

yeteneği de azalmaktadır.<sup>5,10,15,16,29</sup>

Cihazın ölçüm derinliği 1 mm civarında olmasına rağmen, daimi dişte ortalama 2-3.5 mm kalınlıkta olan mine ve dentin aşılarak, bir dişin pulpasının kan akımı ölçülebilmektedir.<sup>5,10,15,16,29</sup> Cihazın pulpadaki kan akımını ölçme yeteneği, dentin tübüllerinin ışık rehberliği etkisine dayandırılmıştır.<sup>30</sup> Lazer ışını, mine prizmalarını ve dentin tübüllerini geçerek pulpaya ulaşmaktadır. Bu olay bir in vitro çalışma modelinde, çekilmiş dişlerin pulpa boşluğuna yerleştirilmiş bir kanül vasıtasıyla, farklı hız ve yoğunlukta kan pompalanması ile gerçekleştirilen LDF ölçümleri ile gösterilmiştir.<sup>31</sup>

Bir başka çalışmada ise Chandler ve ark.<sup>80</sup>, çürük veya restorasyonlu dişlerde, lazer ışığının, dentin tübüllerini vasıtasıyla pulpaya iletildiğini ve LDF metodu ile dişlerin sağlığının değerlendirilebildiğini bildirmişlerdir.

LDF'nin, yetişkinlerde ve çocuklarda güvenilirliği ve çeşitli faktörlerin PKA'da meydana getirdiği değişiklikleri izleyebilme kapasitesi konusunda, birçok çalışma yapılmıştır.<sup>5,10,32-44</sup>

İlk olarak, Gazelius ve ark.<sup>33</sup>, 1986 yılında, LDF tekniğini yetişkin insanlarda kullanmışlar ve sağlıklı dişlerden elde edilen PKA'ya ait sinyallerin, aynı kişiye ait elektrokardiyografi kaydıyla elde edilen kalp atımına paralel seyreden, düzenli sinyaller olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca nekroze dişlerden elde ettikleri kayıtların ise kalp atımlarıyla senkronize olmayan, hareket artefaktlarından kaynaklanan düzensiz, sivri dalgalanmalardan oluştuğunu bildirerek, LDF'nin sağlıklı ve nekroze dişlerin vitalitesinin ayırımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Araştırmacılar yayınladıkları başka bir çalışmada ise, insanlarda LDF'nin, kardiyak döngü ve nabızsal sinyal ile uyumlu bir senkronizasyon gösterdiğini bildirmişlerdir.<sup>34</sup>

Çürük ve sağlıklı dişlerin PKA'sını ölçen ve tedavi sonrası değerlerle karşılaştıran Erdem<sup>5</sup>, pulpa sağlığının ve tedaviye verilen cevabın değerlendirilmesi, prognoz ve tedavi planlamasının hassas şekilde yapılabilmesi için LDF'nin iyi bir temel oluşturmakta olduğunu ifade etmiştir.

LDF ile, küçük azı dişlerin PKA'sını ölçen Ikawa ve ark.<sup>44</sup>, LDF metodunun pulpa vitalitesini belirlemede en uygun yöntem olduğunu

Vitalite Test Yöntemi Olarak LDF ve PO

bildirmişlerdir.

Süt dişlerinde yer değiştirme yaralanmalarının çok sık görüldüğünü bildiren Fratkin ve ark.<sup>37</sup>, tekniğin güvenilirliğini ve bu yaş grubunda kesici süt dişlerinde kullanılabilirliğini, genel anestezi altında tedavileri yapılan, yaşları 14 ay ile 7 yıl arası değişen 32 çocukta araştırmışlardır. Bu çalışmada, 32 çocuktaki 119 dişte, LDF'den elde edilen sonuçların PKA'yı gösterip göstermediği, dişte pulpektomi yapılmadan önce, yapıldıktan sonra, diş çekilmeden önce ve çekildikten sonra PKA'da ne gibi değişiklikler olduğunu incelemişlerdir. Sonuç olarak; pulpadan elde edilen kan akım örneğinin, kalp atımıyla senkronize olduğu ve elde edilen değerlerin PKA'yı gösterdiği, diş çekilmeden, pulpa çıkarılmadan önceki değerler ile, çıkarıldıktan sonraki kan akımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlar üzerine araştırmacılar, tekniğin PKA'yı göstermede güvenilir olduğunu ve çocuk diş hekimliğinde, rahatlıkla ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Travmaya uğramış dişlerin pulpasındaki sinirlerin geçici paretezisinden dolayı, vasküler sirkülasyonun devam ettiği ama nöral incinmenin olduğu durumlarda geleneksel vitalite test yöntemlerine cevap alınamadığı bilinen bir gerçektir.<sup>9</sup> Literatürde LDF'nin, travmaya uğramış dişlerin vitalitesinin takibinde de güvenilir bir tanı aracı olarak kullanılmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Travma geçirmiş dişlerde LDF'nin etkinliği üzerine ilk çalışma, Olgart ve ark.<sup>36</sup> tarafından, 1986 yılında yayınlanmıştır. Yer değiştirme yaralanması bulunan ve pulpal durumu tam olarak bilinmeyen 16 diştten, LDF ile normal veriler elde edilirken, pulpasında nekroz bulguları saptanan 33 diştten elde edilen LDF verilerinin, sağlam simetriklerine göre, daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar, geleneksel metotlar yetersiz kaldığı takdirde, LDF'nin travmaya uğramış dişlerin vitalitesini değerlendirmede başarıyla kullanılabilceğini bildirmişlerdir.

Birçok araştırmacının, çeşitli travmatik yaralanmaların değerlendirilmesinde ve ortaya çıkan komplikasyonların takibinde, LDF'nin etkinliğine yönelik yaptıkları çalışmaların sonuçlarına göre,

LDF'nin travmatik yaralanmalarda güvenle kullanılabilceğini saptamışlardır.<sup>43,45-52</sup>

Yayınlanan olgu raporlarında da, LDF'nin klinik olarak geleneksel vitalite test yöntemlerine göre çok daha güvenilir ve etkili sonuçlar verdiği gösterilmiştir.<sup>48-50</sup>

LDF'nin çocuk diş hekimliğinde, özellikle travmaya uğramış dişlerin vitalitesinin değerlendirilmesinde ve uzun dönem takibinde etkin ve güvenilir bir şekilde kullanılabilceği görülmektedir.

Son yıllarda gerçekleştirilen bir çalışmada, PO ve LDF'nin etkinliği, kanal tedavisi yapılmış ve yapılmamış dişlerde, genç daimi dişlerde ve süt azı dişlerinde incelenmiştir.<sup>10</sup> Üç farklı grup üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma EPT, PO ve LDF'nin üçünün birden etkinliğini aynı çalışma gruplarında karşılaştırarak değerlendiren erişilebilir kaynaklardaki ilk çalışmadır. Araştırmacılar çalışma sonucunda her üç grupta da LDF'nin diğer metodlara göre çok daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ancak araştırmacılar LDF'nin mevcut haliyle birçok eksik yönünün bulunduğunu ve ideal bir vitalite test yönteminden beklenen özelliklerin tümünü karşılayabilmesi için geliştirilmesi gereken eksik yönlerinin bulunduğunu da eklemişlerdir.<sup>10</sup>

LDF'nin diş hekimliğinde birçok alanda güvenle ve etkili bir şekilde kullanılabilceğini gösteren çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, metodunun, rutin klinik kullanıma girmesini engelleyen ve açıklığa kavuşturulması gereken birçok eksik yönünün bulunduğunu ve ileri çalışmalarla geliştirilmesi gerektiğini bildiren çalışmalar da mevcuttur.<sup>4, 6,10,15,16,29,53</sup>

LDF metodunun diş hekimliğinde rutin klinik kullanıma girememesinin ve geliştirilmesi için üzerinde yeterli sayıda geniş kapsamlı çalışmaların yapılamamış olmasının en büyük nedeni, LDF cihazlarının ve problemlerinin maliyetinin çok yüksek olmasıdır.<sup>10</sup>

Ayrıca, LDF cihazı üretici firmalarının ellerindeki mevcut problemler arasında, diştten PKA ölçümü yapabilmeye yönelik üretilmiş prob sayısının çok az olması ya da hiç bulunmaması da başka bir problemdir.<sup>10</sup>

Bu konuda yapılmış az sayıdaki çalışmadan birisi

Vitalite Test Yöntemi Olarak LDF ve PO



olan Odor ve ark.'nın<sup>54</sup> yaptığı çalışmada, prob şeklinin, prob içerisinde bulunan lazer ışığını taşıyıcı ve toplayıcı fiberlerin sayısının ve fiberler arası mesafenin, LDF'den elde edilen veriler üzerine etkisi, sağlıklı ve kanal tedavisi yapılmış dişler üzerinde araştırılmıştır. Çalışma sonunda, en ideal sonuçların, 2 adet fiber bulunduran ve fiberler arası mesafesi 0,5mm olan prob ile elde edildiği bildirilmiştir.

Bir başka problem ise, LDF metodu çok hassas bir metot olduğundan, PKA ölçümleri sırasında elde edilen ölçüm değerinin, hastanın ve/veya probun en küçük hareketinden etkilenmesidir.<sup>10</sup> Prob ölçüm sırasında hareket ettiği takdirde, kan hücrelerinden başka yapılar da Doppler kaymasına neden olurlar ve ölçüm hataları oluşur. Oluşabilecek ölçüm hatalarını önlemek için prob, herhangi bir splint ile diş yüzeyine sabitlenmelidir. Literatürde araştırmacıların probu diş üzerinde sabit kalabilmesini sağlamak amacıyla, akril, periodontal pat, silikon esaslı ölçü maddesi vb. prob tutuculardan faydalandıkları görülmüştür.<sup>5,10,34,36-52</sup>

LDF ölçümlerinin, farklı klinik ortamlarda, rahatlıkla gerçekleştirilebilmesine karşın, metodun başarısı ve güvenilirliği için, ölçümü etkileyen, bireyden ve ortamdan kaynaklanan faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.<sup>10</sup>

Bir klinik çalışma sırasında standart ölçüm şartları önceden detaylı bir şekilde belirlenmelidir. LDF ile PKA ölçümüne yönelik bir araştırma yapılırken, ortamın sıcaklığı, hastaya ait sıcaklık, ilaç ve sigara kullanımı, diyet alışkanlıkları, hastanın oturma pozisyonu, fiziksel ve mental aktivitesi, ölçüm yapılan anatomik bölgenin tipi, yeri ve hareketliliği gibi parametrelerin standart bir şekilde önceden belirlenmesi gerekmektedir.<sup>5,10,15,16,29</sup> Bu bakımdan çevresel faktörlerin, her ölçüm öncesinde, stabil hale getirilmelidir.

Çalışma öncesinde belirlenmesi gereken bir diğer önemli konu ise, ölçüm yapılacak noktanın, diş üzerindeki konumudur. Çünkü LDF ile PKA ölçümü yapılacak noktanın diş üzerindeki konumunun ölçüm sonuçlarını etkilediği bildirilmiştir.<sup>37-41,53</sup>

LDF probunun diş üzerindeki konumunun ölçüm sonuçlarını etkileyip etkilemediğini ve aynı bölgeden yapılan ölçüm değerlerinin zamanla değişip değişmediğini inceleyen Ramsay ve ark.<sup>39</sup>, dişin vestibül yüzünün ortasından kesici kenara

yaklaşıldıkça ölçüm değerinin azaldığını, dişetine yaklaşıldıkça arttığını bildirmişlerdir. Mesiodistal yönde kaydırılan ölçüm noktalarından elde edilen PKA ölçüm değerlerinde ise, belirgin bir fark olmadığını ifade etmişlerdir.

Beş ayrı tip prob kullanarak, dişlerin bukkal yüzeyindeki 4 farklı noktada ölçüm yapan Ingolfsson ve ark.<sup>41</sup>, en iyi verileri, probu dişeti kenarına doğru yerleştirerek aldıklarını bildirmişlerdir.

Ancak bu noktada ortaya çıkan bir başka problem ise LDF cihazından dişe gönderilen lazer ışınların büyük bir kısmının pulpaya ulaşmadan saçılması veya absorbe olması gelmektedir. Ayrıca, kan elemanlarından yansıyan ışınların da bir kısmı, aynı şekilde dönüşte saçılmakta ve absorbe olmaktadır. Sonuç olarak, elde edilen değerlerin normal değerleri yansıtıp yansıtmadığı, diş eti kanlanmasından etkilenip etkilenmediği konusunda şüpheler bulunmaktadır.<sup>44,53</sup>

LDF yöntemi için kabul edilmiş ortak bir birimin henüz bulunmaması ise başka bir önemli problemdir. Halen kullanılmakta olan "Volt", "Flow", "Flux" ve "Perfüzyon" birimlerinin, LDF cihazı ile dokudan elde edilen değerlerin mutlak olmaması nedeniyle, belirli bir sürede, belirli hacimdeki bir dokudan geçen gerçek hücre sayısı gibi, fizyolojik bir tanımlamayı ifade etmekten uzak olduğu bildirilmektedir.<sup>10,15,16,29</sup>

Ayrıca, cihazın yaptığı ölçümün evrensel olarak kabul edilmiş standartlarda kalibre edilmesi gerekmektedir. Ancak LDF ile mikro dolaşım ölçümlerinde, hedef dokunun değişkenliği ve fonksiyonu nedeniyle böyle bir standart kalibrasyon yöntemi henüz geliştirilememiştir.<sup>10</sup> Son yıllarda, LDF cihazı üretimi yapan firmaların, yapılan çalışmalardan elde edilen verileri kullanarak, kalibrasyona gerek duymayan yeni nesil cihazlar geliştirmeye çalıştıklarını bildirmelerine karşın, farklı LDF cihazı ve farklı prob tipleri ile elde edilen değerlerin birbiri ile kıyaslanabilmesi için, yeni ve güvenilir bir kalibrasyon metoduna da ihtiyaç olduğu açıktır.<sup>53,75</sup>

Belirlenen bir başka problem ise, şu ana kadar perfüzyon ile fizyolojik durum arasında bir ilişki kurulabilmesi için birçok çalışma yapılmış olmasına karşın, bireyler ve dokular arası fizyolojik çeşitlilik çok fazla olduğundan, halen her bir diş veya diş grubu için normal standart perfüzyon değerlerinin



bilinmemesidir. Bu nedenle, LDF'nin diş hekimliğinde etkili bir şekilde kullanılabilmesi için, her yaş grubu ve her diş tipi için normal standart değerlerin belirlenmesine ihtiyaç vardır.<sup>10</sup>

#### 4. SONUÇ

Sonuç olarak; LDF metodu, PO ve EPT'ye göre çok daha başarılı bulunmuş olmasına karşın, bugüne kadar bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, LDF'nin, eksik yönleri giderilmeden, mevcut haliyle, rutin klinik kullanıma girmesinin çok zor olduğu görülmektedir. Başarılı bir tedavi ancak, doğru bir tanı ile mümkün olabileceğinden, diş hekimi, doğru bir tanı koyabilmek için bilgisini, tecrübesini ve tüm imkânlarını ortaya koymalıdır. Bu amaçla elindeki mevcut tanı yöntemlerinden faydalanmalıdır. Başta çocuk diş hekimliği olmak üzere, vitalite test yöntemlerini tanı aracı olarak kullanan birçok bölümün, güvenilir bir vitalite test yöntemine ihtiyaç duyduğu muhakkaktır. Fakat kullanılmakta olan geleneksel vitalite test yöntemlerinin, çözümlenmesi mümkün olmayan birçok dezavantajı bulunduğundan, diş hekimleri bu konuda ortaya çıkan problemleri kendi klinik tecrübeleriyle çözmeye çalışmaktadırlar. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, geliştirilmekte olan yeni vitalite test yöntemleri arasında bu ihtiyacı karşılayabilme potansiyeli en yüksek olan yöntem LDF yöntemidir. Ancak, LDF cihazının ve metodunun eksik yönleri ilerleyen teknolojiden de faydalanılarak gerçekleştirilecek kapsamlı çalışmalarla giderilmesi ve daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Alaçam T, Uzel İ, Alaçam A, Aydın M. Endodonti. Barış Yayınları, Ankara, 2000;73-106.
2. Cohen S, Liewehr F. Diagnostic procedures In:Cohen S., Burns R.C. Pathways of the Pulp.(editors) Eighth Ed., Mosby Co., St. Louis, 2002;3-30.
3. Rowe AHR, Ford TRP. The assessment of pulpal vitality. Int Endod J, 1990;23(2):77-83.

4. Ford TRP, Patel S. Technical equipment for assessment of dental pulp status. Endodontic Topics, 2004;7(1):2-13.

5. Erdem M. Klinik tanıda Laser doppler flowmetry metodundan yararlanılması. Gazi Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diş Hast. ve Ted. A.D. Doktora Tezi, Ankara, 1997.

6 Samraj RV, Indira R, Srivisan MR, Kumar A. Recent advances in pulp vitality testing. Endodontology, 2003;15:14-19.

7. Cohen S, Liewehr F. Diagnostic procedures In:Cohen S., Burns R.C. Pathways of the Pulp.(editors) Eighth Ed., Mosby Co., St. Louis, 2002;3-30.

8. Munshi AK, Hedge AM, Radhakrishnan S. Pulse oximetry: a diagnostic instrument in pulpal vitality testing. J Clin Ped Dent, 2002;26(2):141-145.

9. Bhaskar SN, Rappaport HM. Dental vitality tests and pulp status. JADA, 1973;86(2): 409-411.

10. Karayılmaz H. Süt ve Genç Daimi Dişlerde Pulse Oksimetri ve Lazer Doppler Flowmetrinin Vitalite Test Yöntemi olarak Etkinliğinin Değerlendirilmesi. S. Demirel Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Pedodonti A.D. Doktora Tezi, Isparta, 2008.

11. Goho C. Pulse oximetry evaluation of vitality in primary and immature permanent teeth. Pediatr Dent, 1999;21(2):125-127.

12. Kim S. Regulation of pulpal blood flow. J Dent Res, 1985;64(spec. issue):590-596.

13. Schmitt JM, Webber RL, Walker EC. Optical determination of dental pulp vitality. IEEE T Biomed Eng, 1991;38(4):346-352.

14. Noblett WC, Wilcox LR, Scamman F, Johnson WT, Diaz-Arnold A. Detection of pulpal circulation in vitro by pulse oximetry. J Endod, 1996;22(1):1-5.

15. Güngör K. Lazer doppler flowmetri'nin diş hekimliğindeki önemi, G Ü Diş Hek Fak Derg, 2003;20(1):57-63.



- 16.** Polat S, Öztürk M. Diş Hekimliğinde lazer doppler flowmetry. *C Ü Diş Hek Fak Derg*, 1998;1(2):119-125.
- 17.** Yetkin U, Karahan N, Gürbüz A. Klinik uygulamada pulse oksimetre. *Van Tıp Derg*, 2002;9(4):126-133.
- 18.** Schnettler JM, Wallece JA. Pulse oximetry as a diagnostic tool of pulpal vitality. *J Endod*, 1991;17(10):448-490.
- 19.** Oikarinen K, Kopola H, Mäkinemi M, Herrala E. Detection of pulse in oral mucosa and dental pulp by means of optical reflection method. *Endod Dent Traumatol*, 1996;12(2):54-59.
- 20.** Kahan RS, Gulabivala K, Snook M, Setchell DJ. Evaluation of a pulse oximeter and customized probe for pulp vitality testing. *J Endod*, 1996;22(3):105-109.
- 21.** Gopikrishna V, Kandaswamy D. Assessment of the efficacy of an indigenously developed pulse oximeter Dental sensor holder for pulp vitality testing. *Int J Dent Res*. 2006;17(3):111-113.
- 22.** Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Evaluation of efficacy of a new custom-made pulse oximeter dental probe in comparison with the electrical, and thermal, tests for assessing pulp vitality. *J Endod*, 2007;33(4):411-414.
- 23.** Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Comparison of electrical, thermal, and pulse oximetry methods for assessing pulp vitality in recently traumatized teeth. *J Endod*, 2007;33(5):531-535.
- 24.** Calil E, Caldeira CL, Gavini G, Lemos EM. Determination of pulp vitality in vivo with pulse oximetry. *Int Endod J*, 2008;41(9):741-746.
- 25.** Mills RW. Pulse oximetry: a method of vitality testing for teeth. *Br Dent J*, 1992;172:334-335.
- 26.** Pecaro BC, Garehime WJ. The CO<sub>2</sub> laser in oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg*, 1983;41(11):725-728.
- 27.** Miserendino LJ. The history and Development of Laser Dentistry. In: Miserendino LJ, Pick MR. (Eds.) *Lasers in Dentistry*. Quintessence Publishing Co. Inc. Chicago.1995;17-26.
- 28.** Harris DM, Pick MR. Laser Physics. In: Miserendino LJ, Pick MR.(Eds.) *Lasers in Dentistry*. Quintessence Publishing Co. Inc. Chicago.1995;27-38.
- 29.** Leahy MC, de Mul FFM, Nilsson GE, Maniewski R. Principles and practice of the laser-doppler perfusion technique. *Technol Health Care*, 1999;7(2-3):143-162.
- 30.** Matthews B, Vongsavan N. Advantages and Limitations of laser doppler flowmeters. *Int Endod J*, 1993;26(1): 9-10.
- 31.** Vongsavan N, Matthews B. Some aspects of the use of laser doppler flowmeters for recording tissue blood flow. *Exp Physiol*, 1993;78(1):1-14.
- 32.** Chandler NP, Pitt Ford TR, Watson TF. Pattern of transmission of laser light through carious molar teeth. *Int Endod J*, 2001;34(7):526-32.
- 33.** Gazelius B, Olgart L, Edwall B, Edwall L. Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol*, 1986;2(5):219-221.
- 34.** Gazelius B, Lindh-Stromberg U, Pettersson H, Oberg PA. Laser doppler technie-A future diagnostic tool for tooth pulp vitality. *Int Endod J*, 1993;26(1):8-9.
- 35.** Perry DA, McDowell J, Goodis HE. Gingival microcirculation response to tooth brushing measured by laser doppler flowmetry. *J Periodontol*, 1997;68(10):990-995.
- 36.** Olgart L, Gazelius B, Lindh-Stromberg U. Laser doppler flowmetry in assessing vitality in luxated permanent teeth. *Int Endod J*, 1988;21(5):300-306.
- 37.** Fratkin DR, Kenny DJ, Johnston DH. Evaluation of a laser doppler flowmeter to assess blood flow in human primary incisor teeth. *Pediatr Dent*, 1999;21(1):53-56.
- 38.** Wilder-Smith PE. A new method for the non-invasive measurement of pulpal blood flow. *Int Endod J*, 1988;21(5):307-312.
- 39.** Ramsay DS, Artun J, Martinen SS. Reliability of pulpal blood flow measurements utilizing laser



doppler flowmetry. *J Dent Res*, 1991;70(11):1427-1430.

40. Ingólfsson ER, Tronstad L, Hersh EV, Riva CE. Effect of probe design on the suitability of laser doppler flowmetry in vitality testing of human teeth. *Endod Dent Traumatol*, 1993;9(2):65-70.

41. Ingólfsson ER, Tronstad L, Hersh EV, Riva CE. Efficacy of laser doppler flowmetry in determining pulp vitality. *Endod Dent Traumatol*, 1994;10(2):83-87.

42. Ingólfsson ER, Tronstad L, Riva CE. Reliability of laser doppler flowmetry in testing vitality of human teeth. *Endod Dent Traumatol*, 1994;10(4):185-187.

43. Evans D, Reid J, Strang R, Stirrups D. A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. *Endod Dent Traumatol*. 1999;15(6):284-290.

44. Ikawa M, Vongsavan N, Horiuchi H. Scattering of laser light directed onto the labial surface of extracted human upper central incisors. *J Endod*, 1999;25(7):483-485.

45. Strobl H, Gojer G, Norer B, Emshoff R. Assessing revascularization of avulsed permanent maxillary incisors by laser doppler flowmetry. *JADA*, 2003;134(12):1597-1603.

46. Strobl H, Moschen I, Emshoff I, Emshoff R. Effect of Luxation type on pulpal blood flow measurements: a long term follow-up luxated permanent maxillary incisors. *J Oral Rehabil*, 2005;32(4):260-265.

47. Yanpiset K, Vongsavan N, Sigurdsson A, Trope M. Efficacy of laser doppler flowmetry for the diagnosis of revascularization of reimplanted immature dog teeth. *Dent Traumatol*, 2001;17(2):63-70.

48. Mesaros SV, Trope M. Revascularization of traumatized teeth assessed by laser Doppler flowmetry: case report. *Endod Dent Traumatol*, 1997;13(1):24-30.

49. Roeykens HJJ, Van Maele GOG, Martens LCM, De Moor RJC. A two-probe laser Doppler flowmetry assessment as an exclusive diagnostic device in a long-term follow-up of traumatised teeth: a case report. *Dent Traumatol*, 2002;18(2):86-91.

50. Lee YY, Yanpiset K, Sigurdsson A, Vann WF Jr. Laser doppler flowmetry for monitoring traumatized teeth. *Dent Traumatol*, 2001;17(5):231-236.

51. Emshoff R, Moschen I, Strobl H. Treatment outcomes of dental injury diagnoses as related to blood flow measurements from teeth. *J Oral Rehabil*, 2008;35(3):209-217.

52. Emshoff R, Moschen I, Strobl H. Adverse outcomes of dental trauma splinting as related to displacement injury and pulpal blood flow level. *Dent Traumatol*, 2008;24(1):32-37.

53. Polat S, Er K, Polat NT. Pulpal kan akımı ölçümlerinde lazer doppler akım ölçme tekniğinin güvenilirliği. *G Ü Diş Hek Fak Derg*, 2006;23(2):125-130.

54. Odor TM, Pitt Ford TR, McDonald F. Effect of probe design and bandwidth on laser doppler readings from vital and root filled teeth. *Med Eng Phys*, 1996;18(5):359-364.

#### İletişim Adresi

Dr. Hüseyin KARAYILMAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi,

Diş Hekimliği Fakültesi,

Pedodonti Ana Bilim Dalı

Doğu Kampüsü, 32260 Isparta, TÜRKİYE

**Tel:** 0 246 211 32 73

**Faks:** 0 246 232 06 07

**E-posta:** [dthkarayilmaz@yahoo.com](mailto:dthkarayilmaz@yahoo.com)