

Lazer Doppler Flovmetre

Derya Güler*, Emine Şen Tunç

DOI: 10.17944/mkutfd.538803

Derya Güler: Dr. Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Bolu
Email: dt_deryad@hotmail.com
ORCID id: <https://orcid.org/0000-0001-8119-1125>

Emine Şen Tunç: Prof. Dr., Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Samsun
Email: sentunc@yahoo.com
ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-4397-8952>

Bildirimler/Acknowledgements

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir.
The authors declare that they have no conflict of interests regarding content of this article.
Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir finansal destek bildirmemişlerdir.
The Authors report no financial support regarding content of this article.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 12.03.2019
Kabul/Accepted: 24.05.2019

e-ISSN: 2149-3103
Web: <https://dergipark.org.tr/mkutfd>

Öz

Lazer Doppler Flovmetre

Pulpa vitalitesinin değerlendirilmesi diş hekimliği pratiğinde teşhis aşamasında kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel pulpa canlılık test yöntemleri pulpal innervasyona dayalıdır ve bazen yanlış pozitif ya da yanlış negatif cevaplar verebilmektedir. Ayrıca, bu yöntemler hastanın uyarılara cevabını değerlendirdiklerinden subjektif testlerdir. Pulpa vitalitesi, kan desteğinin doku içinde bulunduğu anlamına gelmektedir. Son zamanlarda pulpa vitalitesinin belirlenmesinde pulpal kan akımının yarı nicel kaydına izin veren non invaziv ve ağrısız elektro optik bir teknik olan Lazer Doppler Flovmetre'nin kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Diş hekimliği, Lazer Doppler Flovmetre, Pulpal kan akımı, Vitalite testi

Abstract

Laser Doppler Flowmetry

Evaluation of pulp vitality is critical importance in the diagnostic process in dentistry practice. Conventional pulp test methods are based on pulpal innervation and sometimes give false positive or false negative responses. In addition, these methods are subjective tests because they evaluate the response of the patient to stimuli. Pulp vitality means that blood support is present in the tissue. Recently, it has been observed that Laser Doppler Flowmeter, a non-invasive and painless electro-optic technique allowing semi-quantitative recording of pulpal blood flow, is being used in the determination of pulp vitality.

Keywords: Dentistry, Laser Doppler Flowmetry, Pulpal blood flow, Vitality test

1. Giriş

Pulpanın vitalitesinin değerlendirilmesi diş hekimliği pratiğinde teşhis aşamasında kritik bir öneme sahiptir. Pulpa vitalite testleri, özellikle travmatik yaralanmalar sonrasında pulpanın sağlık durumunu görüntülemeye oldukça değerlidir. Termal ve elektrik gibi geleneksel pulpa test metodları innervasyona dayalıdır ve bazen yanlış pozitif ya da yanlış negatif cevaplar verebilmektedir. Ayrıca, bu yöntemler hastanın uyarılara cevabını değerlendirdiklerinden subjektif testlerdir (1). Pulpa vitalitesi, kan desteğinin doku içinde bulunduğu anlamına gelmektedir. Son zamanlarda pulpa vitalitesinin belirlenmesinde pulpal kan akımının (PKA) yarı nicel kaydına izin veren non invaziv ve ağrısız elektro optik bir teknik olan Lazer Doppler Flovmetre'nin (LDF) kullanılmaya başlandığı görülmektedir (2).

Tıp literatürüne ilk olarak Yeh ve Cummins' in çalışmaları ile katılan LDF; deri, retina, renal korteks gibi doku sistemlerindeki kan akımını değerlendirmek için geliştirilmiş ve daha sonrada tavşan retinasındaki kan alımını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır (3, 4). Diş hekimliğinde ise, ilk kez Gazelius ve ark. tarafından dişin canlılığının ve travmaya uğramış dişlerin yeniden damarlanmasının ölçülebildiğini göstermek amacıyla kullanılmış ve canlı dişlerde kalp atışına yakın bir salınım olduğu, canlı olmayan dişlerde ise bu salınımın olmadığı belirtilmiştir (5).

2. Lazer Doppler Flovmetre Cihazının Yapısı

LDF, temel olarak hareketli bir objeden yansıyan radyasyonun frekansında oluşan değişikliğin ölçülmesine dayanır. Bu cihazlar temel olarak lazer ışın kaynağı, fotodetektör, fiber optik düzen ve sinyal işlemci olmak üzere dört ana parçadan oluşmaktadır. Diod lazerlerden üretilen monokromatik lazer ışınlar lens aracılığıyla optik fibere iletilir. Dokudan geri saçılan ışınları fotodetektöre taşıyan toplayıcı fiber ve ışını dokuya taşıyan verici fiber ölçüm probu içerisinde bulunur. Işın demeti bir prob yardımıyla dokuya iletildiğinde, ışının bir kısmı dokudan yansırken bir kısmı da doku

tarafından absorbe edilir. Işığın yansıyan statik nesnelere dalga boyunda herhangi bir değişikliğe neden olmazken, ışığı yansıyan hareket eden kan hücreleri Doppler kayması oluşturur. Doppler kaymasına sebep olan ışın demeti sonucu sinyaller oluşur. Bu sinyallerin sonucunda edinilen değerler “perfüzyon”, “volt”, “flow” veya “flux” olarak tanımlanır (6).

3. Lazer Doppler Flovmetre Ölçümlerinden

Elde Edilen Veriler

Dalga boyundaki değişikliklerin boyutu ve frekans dağılımı, kan hücrelerinin hızı ve sayısı ile direkt olarak bağlantılıdır. Ancak hücrelerin hareket ettiği yönü göstermez. Bu ışın demetinin doku içerisindeki yaygın saçılımı nedeniyledir. Yani prob ucunun yakınında hareket eden bir hücre ile prob ucundan uzakta hareket eden bir hücrenin sinyal değişimine olan etkileri aynıdır. Hareketli kan hücrelerinin konsantrasyonu (HKHK); lazer ışınının hedef aldığı bölgedeki ışını absorbe eden hareketli kırmızı kan hücrelerinin miktarıdır. “Conc” terimi ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu terim, cihazın ölçüm aralığında olan ve Doppler kayması oluşturan tüm hücreleri ifade eder (6-8).

HKHK ile hücrelerin hız değerlerinin ortalamasının çarpımı ile Perfüzyon Ünitesi (PU) elde edilir (9). Cihazın verdiği perfüzyon değeri mutlak değildir. Yani perfüzyon değeri, belli bir sürede, belli bir hacimdeki dokudan geçen gerçek hücre sayısı gibi fizyolojik bir tanımlama yapmaz. Aynı bireyin farklı bölgelerinde periferik perfüzyonda fizyolojik farklılıklar gözlenmektedir. Ayrıca, kapiller yoğunluk ve permeabilitenin lokal doku bölgelerinde küçük mesafeler arasında ve zamana bağlı olarak değişiklikler göstermesi perfüzyon ünitelerinin fizyolojik açıdan değerini sınırlamaktadır (9). LDF cihazlardan elde edilen değerlerle, birim dokudan geçen kan miktarını belirtecek şekilde kalibrasyon yapılamayacağı için cihazların standardizasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla, Perimed firması tarafından, 20°C de %0,5 yoğunluktaki 0,48 m çaplı polistren mikrokürecikleri içeren Motility Standart solüsyonu geliştirilmiştir. Sürekli hareket halinde olan bu mikroküreciklerin bu hareketine Brownian hareketi denir ve aynı standarttaki tüm süspansiyonlar için eşit değerdedir. Fizyolojik anlamı olmayan bu hareket firma tarafından 250 PU olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, perfüzyon değerleri farklı bir cihazla kıyaslanabilir, ancak mutlak değildir (8).

LDF cihazlarından elde edilen bir diğer veri fotodetektöre geri dönen ışığın sayısıdır ve total backscatter (TB) olarak tanımlanmaktadır. TB değerinin yüksek olması ve temiz bir sinyal üretilebilmesi için, arka plan gürültüsü minimuma indirilmelidir (8). TB değeri lazerin gücüne, doğrultusuna, odaklamasına, probdaki fiberlerin birbiriyle olan mesafesine ve probdaki fiberlerin toplam alıcı alanına bağlıdır.

4. Lazer Doppler Flovmetre Okuma Sonuçlarını Etkileyen Faktörler

4.1. Lazer Işığının Karakteristiği

Lazer ışığının karakterinin değişikliği önemli miktarda flux sinyalini etkilemektedir. Çalışmalar, dar ve 3 kHz bant genişlikli filtreyi ile 810 – 633 nm lazer kaynağının kullanımını desteklemektedir (10, 11). Diş dokusuna daha iyi penetre olduğundan yüksek dalga boylu lazerler daha yüksek flux okumaları vermesine rağmen, pulpal olmayan akım sinyallerinin okunması ve bu nedenle de nonvital dişlerin vital dişler gibi sinyaller vermesi riskini artırır (12).

4.2. Prob Açılması

Fiber optik kablolarda taşınan ışının fibere girebilmesi için kritik açıdan daha küçük bir eğimle gelmesi gerekir. Teorik olarak tamamen düz duran bir fiber kablonun içine 25 derece açıyla giren bir ışın diğer ucundan yine 25 derece açıyla çıkmaktadır. Prob açılmasının LDF sonucu üzerine etkisinin değerlendirildiği çok az çalışma vardır (13).

4.3. Prob Pozisyonu

Prob pozisyonunun gingivaya yakın tutulduğu ölçümlerde, periodontal dokulardan nonpulpal sinyaller eklendiğinden daha yüksek flux değerleri elde edildiği bildirilmiştir (11). Benzer şekilde, Akpınar ve ark.’nın yaptıkları çalışmada prob dişin insizal üçlü bölgesinde tutulmuş ve daha düşük değerler elde etmiş (14). Bu bulguların tersine, Odor ve ark. prob pozisyonunun ışık geçişini etkilemediğini göstermiştir (13).

4.4. Prob Dizaynı

Kullanım yerlerine göre farklı LDF problemleri mevcuttur. Problemler arasındaki farklılık, uygulama alanına uygun eksternal özellikler ya da fiber ayrımlarına göre internal özellikler gösterebilir (11, 15).

4.5. Prob Tutucusunun Yapısı

Artefaktlardan kaçınarak, pulpal vaskülaritedeki hareketli hücreleri LDF ile ölçebilmek için dişler üzerine oturan ve böylece stabilize sağlayan ve farklı zamanlarda tekrarlanabilir doğru ölçümler yapabilmeye olanak sağlayan uygun tutucuya gereksinim vardır. Stabilizatörler hazırlanırken, hastalardan alınacak ölçüler üzerinde test edilecek dişin bukkal yüzünde prob çapına uygun delik oluşturulur. Bu amaçla, silikonlar, plastikler, akrilik, kendi kendine sertleşen rezinler gibi farklı materyaller kullanılmıştır (11).

4.6. Pulpal Olmayan Sinyaller

Özellikle periodontal dokulardan kaynaklanarak kontamine olmuş pulpal sinyallerin gerçek pulpal flux değerlerini yanılttığı gösterilmiştir (16, 17). Önlem alınmadığı durumlarda, LDF sinyallerinin büyük kısmının destek dokulardan geleceği ileri sürülmektedir (18). Ingolfsson ve ark. pulpal kan akımının belirlenmesine tespit edilen sinyallerin %45-60'ının pulpa kaynaklı olmadığını göstermişlerdir (7).

Devital dişlerde çıkış sinyali vital dişlere göre kayda değer miktarda düşüktür ve bu değer sıfır varsayılr. Polat ve ark. vital ve kök kanal tedavisi yapılmış dişlerden kayıt alarak kan akımlarını LDF ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, rubber-dam uygulaması gibi önlemler alınmadığı takdirde sinyallerin büyük bir kısmının pulpa dışı dokulardan geldiğini bildirmişlerdir (17). Bu nedenle ölçümü yapılan diş kronun izole edilmesi sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Komşu dokuların sinyallerinin katkısını önlemede; rulo pamuklar (18), periodontal patlar (19) ve rubber-dam uygulaması (18, 20) gibi pek çok yöntem denenmiştir. Akpınar ve ark. periodontal pat ile yapılan izolasyon işleminin pulpal kan akımı ölçüm değerlerinde %63 oranında azalma sağlandığını bildirmişlerdir (19). Rubber-dam uygulamasında ise, bu azalma oranının %69-73 arasında değiştiği bildirilmiştir (18, 20). Rubber-dam kullanımını tercih edildiğinde opak ve kalın örtülerin kontaminasyonu daha çok engelleyeceği ileri sürülmüştür (18).

4.7. Diş Tipi

LDF ölçümlerinin ön dişlerde kullanıldığı pek çok çalışma olmasına rağmen, arka grup dişlerde kullanımının az sayıda çalışmada değerlendirildiği görülmektedir (21-24). Yanpiset ve ark., keserler ile premolar üzerine yaptıkları çalışmalarında, LDF'nin etkinliği ile diş tipi arasında bir önemli bir fark olmadığını bildirmişler, ancak birinci ile ikinci premolar arasında belirgin bir fark gözlemlemişlerdir (25).

4.8. İlaç Kullanımı

Capsaisin (26) ve antihipertansif ilaçların yanı sıra nikotin tüketiminin de (27) PKA'da değişime neden olabileceği bildirilmiştir.

4.9. Isı Değişimi

Farklı zamanlarda yapılan ölçümlerin karşılaştırılabilmesi için, derideki kan perfüzyonu ölçümlerinin ısı-kontrollü bir odada ve eşit ortam ısılarında yapılması önerilmektedir (28, 29).

4.10. Ölçüm Derinliği

Ölçüm derinliği, genellikle dokuya gelen yüzey ışığının penetre olduğu ve yüzeye geri geldiği derinliği tarif etmektedir. Ölçüm derinliğinin büyüklüğü, kapiller yatağın yapısına yoğunluğuna, ışığın dalga boyuna ve probdaki fiberlerin birbiri arasındaki mesafeye bağlıdır. Cihazın ölçüm derinliği yaklaşık 1 mmdir. Daimi dişte mine ve dentin kalınlığı genellikle 2 - 3,5 mm olmasına rağmen mine-dentin tabakaları aşılarak, bir dişin pulpasının kan akımı ölçülebilmektedir. LDF'nin bu derinlikteki pulpanın kan akımını saptama becerisi dentin tübüllerinin ışık rehberliği etkisine dayandırılmaktadır (8).

5. Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

LDF, diş hekimliğinin tüm dallarında kullanım alanı bulmuştur. LDF ile pulpa, dişeti ve kemikteki kan akımı ölçümü yapılabilmektedir.

Pulpal vitalitenin değerlendirilmesi, elektriksel ve termal uyaranlara pulpanın cevabının görüntülenmesinde kullanılmıştır. Sıcak ve soğuk uygulamanın pulpal kan akımına etkisinin LDF ile incelendiği bir çalışmada, bu uyarıların pulpal kan akımını etkilediğini bildirilmişlerdir (28, 30).

Travmatik yaralanmalar sonrası PKA'nın ölçülmesinde kullanılabilir. Travmaya uğramış dişlerin innervasyonları hasara uğrayabilir ve kan akımı ve vitalite fonksiyonları devam etmesine rağmen pulpa testlerine yanlış cevap verebilir. Oysaki LDF'nin bu dişlerde güvenle kullanılabileceği ileri sürülmektedir (2, 31-33).

Çocuklarda pulpa vitalitesini tespit etmekte kullanılabilir. Hassasiyet testleri çocuklarda güvenilir değildir, çünkü bu tür testler subjektiftir ve hastanın cevabına bağlıdır. LDF'nin hem süt hemde genç daimi dişlerin pulpal kan akımını ölçmek için uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir (34-36).

İnsan pulpasının kan akışındaki değişikliklerin yaşla ilişkisinin incelendiği bir çalışmada, pulpa kan akışının artan yaşla önemli derecede azaldığı gözlemlenmiştir (37).

Egzersizlerin PKA'daki etkisini görüntülemeye kullanılmıştır. Egzersize bağlı pulpal ve dişeti kan akımında bir miktar değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir (38).

Lokal ve sistemik ilaçların diş ve çevre dokulardaki kan akımı reaksiyonlarını görüntülemeye kullanılabilir (39-42).

Dişler üzerine uygulanan farklı yük ve yöndeki ortodontik kuvvetlerin dişlerdeki pulpal kan akımında yaptığı değişiklikleri görüntülemeye kullanılabilir (43-45).

Ortognatik cerrahi sonrası kemiksel değişikliklerin yapıldığı bölgelerdeki dişlerin PKA değerlerinin ölçülmesinde kullanılabilir (46)

Dişlere uygulanan restoratif ajanların ve pulpa kaplama materyallerinin pulpaya etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir (47)

Dişetindeki eksternal etkenlere bağlı değişimleri gö-rüntülemeye kullanılabilir. Sigara kullanımının ya da taşkın yapılan dolguların gingival kan akımında değişikliğe neden olup olmadığı LDF kullanılarak değerlendirilmiştir (48-50).

6. Avantajları

LDF' nin en büyük avantajı pulpal kan akımını ölçebilen non invaziv bir araç olmasıdır. Bunun yanı sıra; kullanımının kolay olması ve tekrarlanabilir ölçümler yapılabilir olması bir diğer güzel özelliğidir. Ayrıca, cihazdan elde edilen veriler özel bir yazılım kullanılarak bilgisayarda grafik olarak izlenebilir ve istatistiksel inceleme yapılabilir. Diğer vitalite testlerinde cevapları güvenilir bulunmayan küçük çocuklarda kullanışlıdır ve hasta kooperasyonunu kurulmasında katkı sağlar (8, 51).

7. Dezavantajları – Limitasyonları

Elde edilen değerler mutlak ve her zaman kan akımı ile doğrusal ilişkiye sahip değildir. Bireyler arasında ve hatta aynı bireyde farklı zamanlarda yapılan ölçümlerde periferel perfüzyonda fizyolojik farklılıklar gözlenmektedir (8).

Temelde ölçülen hareketli nesnelere kırmızı kan hücreleridir. Ancak LDF' nin tek bir kırılma indeksine özel bir duyarlılığı yoktur. Cihaz prob ucunda oluşan tüm hareketleri kaydeder. Bu sebeple, ölçüm sırasında probun hareketsiz kalması önemlidir. Prob hareket eder ise, kan hücrelerinden başka yapılar da Doppler kayması oluştururlar. Çevre dokulardan gelen ışınlar ve lazer stabilitesindeki bozukluk ölçümde hataya neden olabilir. Bu nedenle, sensör hareketsiz tutulmalıdır ve net bir okuma için ölçüm bölgesi ile kesintisiz bir kontakt sağlanmalıdır (18, 24).

Bu yöntem akut değişiklikleri belirlemek için güvenilirdir fakat doğru pozisyonu tekrarlama problemi nedeniyle uzun süreli ortodontik kuvvet uygulaması sonrasında ya da lüksasyon yaralanmalarında spontan repozisyonu takip ederken pulpal kan dolaşımının değerlendirilmesi için uygun değildir (11).

Renklenmiş dişlerdeki kan pigmentleri lazer ışını geçişini engelleyebilir. Destek dokulardan gelebilecek yanlış pozitif cevapların önüne geçebilmek için dikkat sarf edilmelidir (17, 30).

Yüksek oranda doğruluk sağlamasına karşın LDF ile kan akımı komplike ve zaman alıcı bir yöntemdir (7, 52).

KAYNAKLAR

1. J. M. Schmitt, R. L. Webber, and E. C. Walker, 'Optical Determination of Dental Pulp Vitality', IEEE Trans Biomed Eng 38,4 (1991): 346-52.
2. E. Roy, B. Alliot-Licht, S. Dajeau-Trutaud, C. Fraysse, A. Jean, and V. Armengol, 'Evaluation of the Ability of Laser Doppler Flowmetry for the Assessment of Pulp Vitality in General Dental Practice', Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 106,4 (2008): 615-20.
3. Y_ Yeh, and HZ Cummins, 'Localized Fluid Flow Measurements with an He-Ne Laser Spectrometer', Applied Physics Letters 4,10 (1964): 176-78.
4. Charles Riva, Benjamin Ross, and George B Benedek, 'Laser Doppler Measurements of Blood Flow in Capillary Tubes and Retinal Arteries', Investigative Ophthalmology & Visual Science 11,11 (1972): 936-44.
5. B. Gazelius, L. Olgart, B. Edwall, and L. Edwall, 'Non-Invasive Recording of Blood Flow in Human Dental Pulp', Endod Dent Traumatol 2,5 (1986): 219-21.
6. Kahraman Güngör, Lazer Doppler Flowmetri (Ldf)'Nin Dişhekimliğindeki Önemi, (Gazi Üniversitesi Gazi University, 2003).
7. A. E. Ingolfsson, L. Tronstad, and C. E. Riva, 'Reliability of Laser Doppler Flowmetry in Testing Vitality of Human Teeth', Endod Dent Traumatol 10,4 (1994): 185-7.
8. B. Matthews, and N. Vongsavan, 'Advantages and Limitations of Laser Doppler Flow Meters', Int Endod J 26,1 (1993): 9-10.
9. P. A. Oberg, 'Laser-Doppler Flowmetry', Crit Rev Biomed Eng 18,2 (1990): 125-63.
10. T. M. Odor, T. F. Watson, T. R. Pitt Ford, and F. McDonald, 'Pattern of Transmission of Laser Light in Teeth', Int Endod J 29,4 (1996): 228-34.
11. E. M. Roebuck, D. J. Evans, D. Stirrups, and R. Strang, 'The Effect of Wavelength, Bandwidth, and Probe Design and Position on Assessing the Vitality of Anterior Teeth with Laser Doppler Flowmetry', Int J Paediatr Dent 10,3 (2000): 213-20.
12. S. Polat, K. Er, and N. T. Polat, 'The Lamp Effect of Laser Doppler Flowmetry on Teeth', J Oral Rehabil 32,11 (2005): 844-8.
13. T. M. Odor, T. R. Ford, and F. McDonald, 'Effect of Probe Design and Bandwidth on Laser Doppler Readings from Vital and Root-Filled Teeth', Med Eng Phys 18,5 (1996): 359-64.
14. Kerem Engin Akpınar, 'Dentin Çürüğü Bulunan Dişlerde Meydana Gelen Pulpa Kan Akım Hizindeki Değişikliğin Lazer Doppler Flowmetry (Ldf) Metodu ile Değerlendirilmesi'.
15. A. R. Ingolfsson, L. Tronstad, E. V. Hersh, and C. E. Riva, 'Effect of Probe Design on the Suitability of Laser Doppler Flowmetry in Vitality Testing of Human Teeth', Endod Dent Traumatol 9,2 (1993): 65-70.
16. M. Ikawa, N. Vongsavan, and H. Horiuchi, 'Scattering of Laser Light Directed onto the Labial Surface of Extracted Human Upper Central Incisors', J Endod 25,7 (1999): 483-5.

17. S. Polat, K. Er, K. E. Akpınar, and N. T. Polat, 'The Sources of Laser Doppler Blood-Flow Signals Recorded from Vital and Root Canal Treated Teeth', *Arch Oral Biol* 49,1 (2004): 53-7.
18. A. Hartmann, J. Azerad, and Y. Boucher, 'Environmental Effects on Laser Doppler Pulpal Blood-Flow Measurements in Man', *Arch Oral Biol* 41,4 (1996): 333-9.
19. K. E. Akpınar, K. Er, S. Polat, and N. T. Polat, 'Effect of Gingiva on Laser Doppler Pulpal Blood Flow Measurements', *J Endod* 30,3 (2004): 138-40.
20. S. Soo-ampon, N. Vongsavan, M. Soo-ampon, S. Chuckpaiwong, and B. Matthews, 'The Sources of Laser Doppler Blood-Flow Signals Recorded from Human Teeth', *Arch Oral Biol* 48,5 (2003): 353-60.
21. T. Sasano, D. Onodera, K. Hashimoto, M. Iikubo, S. Satoh-Kuriwada, N. Shoji, and T. Miyahara, 'Possible Application of Transmitted Laser Light for the Assessment of Human Pulp Vitality. Part 2. Increased Laser Power for Enhanced Detection of Pulpal Blood Flow', *Dent Traumatol* 21,1 (2005): 37-41.
22. Y. Konno, T. Daimaruya, M. Iikubo, R. Kanzaki, I. Takahashi, J. Sugawara, and T. Sasano, 'Morphologic and Hemodynamic Analysis of Dental Pulp in Dogs after Molar Intrusion with the Skeletal Anchorage System', *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132,2 (2007): 199-207.
23. H. Jafarzadeh, 'Laser Doppler Flowmetry in Endodontics: A Review', *Int Endod J* 42,6 (2009): 476-90.
24. N. Ghouth, M. S. Duggal, A. BaniHani, and H. Nazzal, 'The Diagnostic Accuracy of Laser Doppler Flowmetry in Assessing Pulp Blood Flow in Permanent Teeth: A Systematic Review', *Dent Traumatol* 34,5 (2018): 311-19.
25. K. Yanpiset, N. Vongsavan, A. Sigurdsson, and M. Trope, 'Efficacy of Laser Doppler Flowmetry for the Diagnosis of Revascularization of Reimplanted Immature Dog Teeth', *Dent Traumatol* 17,2 (2001): 63-70.
26. G. M. Verdickt, and P. V. Abbott, 'Blood Flow Changes in Human Dental Pulp When Capsaicin Is Applied to the Adjacent Gingival Mucosa', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 92,5 (2001): 561-5.
27. J. M. Musselwhite, B. Klitzman, W. Maixner, and E. J. Burkes, Jr., 'Laser Doppler Flowmetry: A Clinical Test of Pulpal Vitality', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 84,4 (1997): 411-9.
28. E. Andersen, H. Aars, and P. Brodin, 'Effects of Cooling and Heating of the Tooth on Pulpal Blood Flow in Man', *Endod Dent Traumatol* 10,6 (1994): 256-9.
29. H. E. Goodis, V. Winthrop, and J. M. White, 'Pulpal Responses to Cooling Tooth Temperatures', *J Endod* 26,5 (2000): 263-7.
30. V. Gopikrishna, G. Pradeep, and N. Venkateshbabu, 'Assessment of Pulp Vitality: A Review', *Int J Paediatr Dent* 19,1 (2009): 3-15.
31. H. Strobl, G. Gojer, B. Norer, and R. Emshoff, 'Assessing Revascularization of Avulsed Permanent Maxillary Incisors by Laser Doppler Flowmetry', *J Am Dent Assoc* 134,12 (2003): 1597-603.
32. C. Winzap-Kalin, V. Chappuis, and T. von Arx, '[Laser Doppler Flowmetry for Vitality Testing of Traumatized Maxillary Incisors]', *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115,1 (2005): 12-7.
33. R. Emshoff, I. Moschen, and H. Strobl, 'Treatment Outcomes of Dental Injury Diagnoses as Related to Blood Flow Measurements from Teeth', *J Oral Rehabil* 35,3 (2008): 209-17.
34. R. D. Fratkin, D. J. Kenny, and D. H. Johnston, 'Evaluation of a Laser Doppler Flowmeter to Assess Blood Flow in Human Primary Incisor Teeth', *Pediatr Dent* 21,1 (1999): 53-6.
35. C. Goho, 'Pulse Oximetry Evaluation of Vitality in Primary and Immature Permanent Teeth', *Pediatr Dent* 21,2 (1999): 125-7.
36. Hüseyin Karayılmaz, and Zuhal Kırzioğlu, 'Genç Daimi Dişlerin Pulpa Kan Akımı Değişimlerinin Lazer Doppler Flowmetri ile Değerlendirilmesi', *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences* 16,2 (2010): 129-35.
37. M. Ikawa, M. Fujiwara, H. Horiuchi, and H. Shimauchi, 'The Effect of Short-Term Tooth Intrusion on Human Pulpal Blood Flow Measured by Laser Doppler Flowmetry', *Arch Oral Biol* 46,9 (2001): 781-7.
38. A. D. Watson, T. R. Pitt Ford, and F. McDonald, 'Blood Flow Changes in the Dental Pulp During Limited Exercise Measured by Laser Doppler Flowmetry', *Int Endod J* 25,2 (1992): 82-7.
39. J. Ahn, and M. A. Pogrel, 'The Effects of 2% Lidocaine with 1:100,000 Epinephrine on Pulpal and Gingival Blood Flow', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 85,2 (1998): 197-202.
40. H. S. Chng, T. R. Pitt Ford, and F. McDonald, 'Effects of Prilocaine Local Anaesthetic Solutions on Pulpal Blood Flow in Maxillary Canines', *Endod Dent Traumatol* 12,2 (1996): 89-95.
41. W. H. Raab, W. Magerl, and H. Muller, 'Changes in Dental Blood Flow Following Electrical Tooth Pulp Stimulation--Influences of Capsaicin and Guanethidine', *Agents Actions* 25,3-4 (1988): 237-9.
42. E. M. Fernieini, J. D. Bennett, D. G. Silverman, and T. M. Halaszynski, 'Hemodynamic Assessment of Local Anesthetic Administration by Laser Doppler Flowmetry', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 91,5 (2001): 526-30.
43. P. Brodin, L. Linge, and H. Aars, 'Instant Assessment of Pulpal Blood Flow after Orthodontic Force Application', *J Orofac Orthop* 57,5 (1996): 306-9.
44. Y. Sano, M. Ikawa, J. Sugawara, H. Horiuchi, and H. Mitani, 'The Effect of Continuous Intrusive Force on Human Pulpal Blood Flow', *Eur J Orthod* 24,2 (2002): 159-66.
45. H. Babacan, C. Doruk, and A. A. Bicakci, 'Pulpal Blood Flow Changes Due to Rapid Maxillary Expansion', *Angle Orthod* 80,6 (2010): 1136-40.
46. T. von Arx, V. Chappuis, C. Winzap-Kalin, and M. M. Bornstein, 'Laser Doppler Flowmetry for Assessment of Anterior Mandibular Teeth in Conjunction with Bone Harvesting in the Symphysis: A Clinical Pilot Study', *Int J Oral Maxillofac Implants* 22,3 (2007): 383-9.
47. N. P. Chandler, T. R. Pitt Ford, and B. D. Monteith, 'Effect of Restorations on Pulpal Blood Flow in Molars Measured by Laser

- Doppler Flowmetry', *Int Endod J* 43,1 (2010): 41-6.
48. David A Baab, and P Åke Öberg, 'The Effect of Cigarette Smoking on Gingival Blood Flow in Humans', *Journal of clinical periodontology* 14,7 (1987): 418-24.
49. H Develioğlu, F Hüzmüzlü, and İ Hubbezoğlu, 'Taşkın Dolgularla Papiller Kan Akışı Arasındaki İlişkinin Laser Doppler Flowmetre Yardımıyla Değerlendirilmesi', *Selçuk Üniv. Dişhek Fak. Derg* 12,2 (2002): 52-55.
50. TN Meekin, RF Wilson, DA Scott, M Ide, and RM Palmer, 'Laser Doppler Flowmeter Measurement of Relative Gingival and Forehead Skin Blood Flow in Light and Heavy Smokers During and after Smoking', *Journal of clinical periodontology* 27,4 (2000): 236-42.
51. S. Ersahan, F. A. Sabuncuoglu, and E. A. Oktay, 'The Efficacy of Laser Doppler Flowmetry, Electric Pulp Test and Cold Test in Diagnosing Revascularization of Extrusively Luxated Immature Maxillary Incisors', *Pak J Med Sci* 34,4 (2018): 787-93.
52. Dt Deniz Kökçü, Yrd Doç Dr Murat Yenisey, and Yrd Doç Dr Ahmet Umut Güler, *Blood Flow Measurement in Dentistry and Laser Doppler Flowmetry*, (Atatürk Üniversitesi Atatürk University, 2014).