

## ARAŞTIRMA

### Atmosferik Basıncılı Soğuk Plazma Uygulamasının İslanabilirlik Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Pilot Çalışma

Selin Genç Kocaayan(0000-0002-0139-2574)<sup>α</sup>, Utku Kürşat Ercan(0000-0002-9762-2265)<sup>β</sup>, Sukru Enhoş(0000-0002-8558-4951)<sup>α</sup>

Selcuk Dent J, 2021; 8: 665-672 (Doi: 10.15311/selcukdentj.760390)

Başvuru Tarihi: 30 Haziran 2020  
Yayına Kabul Tarihi: 29 Mart 2021

#### ÖZ

#### Atmosferik Basıncılı Soğuk Plazma Uygulamasının İslanabilirlik Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Pilot Çalışma

**Amaç:** Çalışmamızın amacı; SLA yüzeyli Grade IV Titanyum disklerle yapılan atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasının ıslanabilirlik üzerine etkisini incelemek ve gelecek çalışmalarımızı bu etki doğrultusunda şekillendirmektir. Çalışmamız gelecekte yapılacak çalışmalarda kullanmak üzere plazma kaynağının en etkili kullanım ayarlarını belirlemek için planlanmış bir pilot çalışmadır.

**Gereç ve Yöntemler:** Çalışmamızda SLA yüzeyli titanyum diskler üzerine 5 farklı uygulama modu ve 15, 30, 45, 60 ve 120 sn olmak üzere farklı uygulama süreleri kullanılarak atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulaması yapılmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası gonyometre cihazı ile yüzeylere su damlatılarak kontak açısı değişimi bilgisayar programı ile hesaplanmış ve fotoğraflanmıştır.

**Bulgular:** Plazma uygulaması öncesi kontak açısı  $119\pm 5.4^\circ$  olarak ölçülmüştür. En fazla kontak açısı değişimi her modda 120 sn de görülmüştür. 1. modda 120 sn uygulama sonrası kontak açısı  $35.6\pm 29^\circ$ , 3. modda 120 sn uygulama sonrası kontak açısı  $8.7\pm 4^\circ$ , 5. modda 120 sn uygulama sonrası kontak açısı  $6.8\pm 2.1^\circ$  saptanmıştır. Her bir zaman aralığında uygulama modları karşılaştırıldığında, uygulama öncesine göre kontak açısındaki değişim miktarı 5. Mod > 3. Mod > 1. Mod olarak belirlenmiştir.

**Sonuç:** Plazma uygulaması özellikle 5. Mod kullanılarak 120 sn uygulama yapıldığında ıslanabilirliği arttırmada etkili bulunmuştur ve süperhidrofilik bir yüzey sağlamıştır. Çalışmamızda kullandığımız ABSP kaynağı geçmişte kullanılan plazma cihazları aksine klinikte hasta başında kullanılabilecek bir cihaz olması nedeniyle tercih edilmiştir ve gelecekte aynı plazma kaynağı kullanılarak yapılacak olan *in vitro* ve klinik çalışmalarda kullanılacak olan optimum süre ve mod belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

#### ANAHTAR KELİMELELER

İslanabilirlik, Plazma, Titanyum

#### ABSTRACT

#### Evaluation of The Effect of Atmospheric Pressure Cold Plasma Application On Wettability: Pilot Study

**Background:** The purpose of our study is to evaluate the effect of atmospheric pressure cold plasma application on wettability of SLA surface titanium discs and shape our future studies in guidance with this effect.

**Methods:** Atmospheric pressure cold plasma was applied on SLA surface titanium discs by using 5 different application modes and different application times as 15,30, 45, 60 and 120 seconds. Before and after plasma application, contact angles was measured and photographed.

**Results:** Contact angle was measured as  $119\pm 5.4^\circ$  before plasma application. The maximum contact angle change was observed in 120 secons in each mode. On mode 1, the contact angle was  $35.6\pm 29^\circ$  after 120 seconds plasma application. On mode 3, the contact angle was  $8.7\pm 4^\circ$  after 120 seconds plasma application. On mode 5, the contact angle was  $6.8\pm 2.1^\circ$  after 120 seconds plasma application. When the application modes were compared in each time interval, the amount of change in the contact angle was determined as Mode 5> Mode 3>Mode 1.

**Conclusion:** Plasma application was found to be effective in increasing wettability especially when applied for 120 seconds by using mode 5 and provided a süper hydrophilic surface. The plasma source we used in this study was preferred because it is a device that can be used chairside. This study is important in terms of determining the optimum time and mode of this plasma source to be use in the future *in vitro* and clinical studies.

#### KEYWORDS

Cold plasma, Titanium, Wettability

Plazma; genellikle nötr bir arka plan gazı içinde pozitif ve bazen negatif iyonların ve negatif yüklü elektronların varlığı ile karakterize edilen maddenin 4. hali olarak tanımlanmaktadır.<sup>1</sup> Plazmalar gaz içeren bir hacme enerji verilerek (genellikle elektrik enerjisi) oluşturulur, bu sayede serbest elektron ve iyonların bir kısmı nötr bileşenlerden üretilir. Plazmalar “termal (sıcak) plazma” ve “non-termal (soğuk) plazma” olarak gruplandırılabilir. İmplant yüzeyine hidroksil-apatit kaplama yapmak için kullanılan plazma sprey uygulaması termal plazma uygulamalarına bir örnektir. Plazmaların ana bileşenleri iyonlar, elektronlar ve termodinamik dengede bulunan nötrlerdir.<sup>2</sup>

Her ne kadar yüzey karakteristiğini modifiye etmek için kullanılan termal ve radyofrekans plazma cihazları başarılı olmuş olsa da ekipmanın pahalılığı, çalışma şartlarının yüksek sıcaklık veya düşük basınç koşulları altında olması, bu cihazların kullanımını azaltmıştır.<sup>3,4</sup> Buna karşılık olarak non-termal plazmalar (NTPs) enerjilerinin çoğunu “yüksek sıcaklık” kimyasını sağlamak için kullanırlar ve yüzey aktivasyonu veya modifikasyonunu oda sıcaklığında çalışırken yaparlar.<sup>5</sup> Radyofrekans teknolojisinin düşük basınç gerektirmesinin tersine, yeni sistemler ile

<sup>α</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Periodontoloji AD. İzmir, Türkiye

<sup>β</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü. İzmir, Türkiye

atmosferik basınçta klinik ortamda güvenli ve taşınabilir çalışmayı sağlayacak kadar küçük boyutlarda mikro NTP jeneratörlerini üretmiştir. Bu yeni sistem ile belirlenen şartlar altında yüzey enerjisinde anlamlı artış göstermeye yetecek enerji sağlanmıştır.<sup>6</sup> Biyomedikal uygulamalarda kullanılan NTP'lerin, üretilen reaktif türlerin yüksek konsantrasyonundan dolayı yüzey enerjisi ve kimyasını etkili bir şekilde değiştirdiği kanıtlanmıştır.<sup>7,8</sup> Kullanılan plazmanın ayarları ve kimyasına bağlı olarak, reaktif türlerin eklenmesi ve daha ileri yüzey temizliği yapılması, herhangi bir implant yüzeyine potansiyel faydalar sağlamaktadır ve implant yerleştirilmesinden önce uygulandığında yüksek yüzey reaktivitesi ve enerjisi ile sonuçlanmaktadır.<sup>2</sup> İnorganik materyallerin NTP ile yüzey modifikasyonu, enerjik iyon bombardımanı ile yüzeyden atom veya moleküllerin koparılması ile ve gaz ya da plazma fazı ile yüzey atomları arasındaki reaksiyonlar ile elde edilir. Plazma uygulaması implantların yüzey enerjisini artırır ve bu şekilde solventler veya otoklav ile temizlenmiş implantlara göre ıslanabilirlik özelliklerini geliştirir.<sup>3,9</sup>

Atmosferik basınç soğuk plazma (ABSP), atmosferik basınçta çalışır ve yüksek enerjili vakum plazmanın aksine kompleks bir reaktöre ihtiyaç duymaz.<sup>10</sup> Klinik pratikte de sadece vakuma ihtiyaç duymayan ve atmosferik basınçta çalışan bir plazma cihazı kullanılabilir.<sup>11</sup> ABSP'nin titanyum implant yüzeyini başarılı şekilde temizlediği ve hidrofilik hale getirdiği gösterilmiştir. Plazma uygulamasında farklı gazlar kullanılabilir, uygulama süreleri değiştirilerek plazmanın etkisi artırılabilir ya da azaltılabilir. Bir çalışmada 4 farklı yüzey özelliğine sahip (freze şekillendirilmiş, asitlenmiş, kumlanmış, SLA® (Institut Straumann AG, Switzerland) disklerle plazma uygulaması yapılmış ve ıslanabilirlik açısından SLActive® (Institut Straumann AG, Switzerland) yüzey ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan farklı gaz kompozisyonuna ve uygulama süresine bağlı olarak yüzey temas açıları her grupta anlamlı olarak azalmıştır. Asitlenmiş kumlanmış yüzeye plazma uygulanmasından kısa süre sonra kontak açısı 117 ° den 0° ye düşmüştür. Plazma her yüzey özelliğine sahip grupta ıslanabilirliği arttırmada etkili bulunmuştur.<sup>11</sup> Plazma uygulamasının yüzeye protein adsorbsiyonunu inceleyen başka bir çalışmada ise, ABSP uygulamasının yüzey enerjisini arttırdığı ve protein adsorbsiyonu sürecini hızlandırdığı sonucuna varılmıştır.<sup>12</sup>

Genel olarak yüzey pozitif yüklü olduğunda, yüzey hidrofilik olur ve başlangıç osteojenik etkileşimler için gerekli olan plazma proteinleri hidrofilik yüzeye adsorbe olurlar.<sup>13-15</sup> İmplant yüzeyinin yükü plazma uygulamasıyla değiştirilebilir ve yalnızca yüzey yükünü değiştirmekle kalmaz aynı zamanda yüzey kimyasını da değiştirmektedir.<sup>16,17</sup> ABSP ürettiği reaktif türlerin yüksek konsantrasyonuna bağlı olarak yüzey enerjisi ve kimyasında değişikliklere yol açar.<sup>8,17</sup> Bu durum

osteojenik cevabın hızlanması için yararlıdır ve ıslanabilirliği dolayısıyla da başlangıç hücreli ilişkileri geliştirir.<sup>11</sup>

ıslanabilirlik, temas açıları ile ölçülür ve katı/buhar, katı/sıvı, sıvı/buhar yüzeyi ve ara yüz enerjileri tarafından termodinamik olarak belirlenmektedir. Yüzey pürüzlendirmeleri ve kimyasal homojenliği değiştiren faktörler gibi gerçek yüzeyden sapma yaratan durumlar yüzey ıslanabilirliğini değiştirir. Yüzeye absorbe olan hidrokarbon kontaminasyonları metalik yüzeyde beklenmeyen bir hidrofobi yaratır. Titanyum implant yüzeyinin hidrofilik özelliğinin azalmasının sebebi olarak da kontaminasyon gösterilmiştir ve SLA® yüzeyde karbon konsantrasyonunun ölçülmesi ile çok iyi temizlenmiş yüzeylerin bile pürüzlülük ile indüklenen kontaminasyonlara ya da sadece hava kontaminasyonu ile hidrokarbonlara maruz kaldığı saptanmıştır.<sup>18,19</sup> Yüzey bir kez kontamine olduktan sonra hidrofilik özelliği geri kazanmak için tekrar temizleme prosedürleri uygulanması gerekmektedir. Yüzeyin hidrofobik halde kalması ise yüzeyde azalmış protein adsorbsiyonuna neden olur. Yüzeyin yetersiz ıslanabilirliği, kandan gelen komponentler ile yüzeyin yeterli miktarda ilişki kuramamasına neden olur ve devamında oluşması gereken hücreli reaksiyonlar etkilenir.<sup>19</sup> Yüzey gözeneklerinde kontaminasyondan kaynaklan hava bulunması, sulu biyosistemle temas eden yüzey alanının azalmasına neden olur ve protein etkileşimleri ile üzerinde protein film tabakası oluşumu azalır, böylece osseointegrasyon olumsuz etkilenir.<sup>20</sup> Modifiye SLA® yüzeyde ise karbon konsantrasyonu daha düşük bulunmuştur çünkü bu yüzeyler hava ile kontamine olmamıştır ve yüksek derecede hidroksile/hidrate yüzeye sahiptir. SLA® yüzeyde su kontak açısı ortalama 139° ölçülürken SLActive® yüzeyde 0° olarak rapor edilmiştir. SLActive® yüzey süper hidrofilik özelliktedir.<sup>19</sup> Yüzey ıslanabilirliğinin önemi implant yüzeyi ve çevre dokular arasındaki etkileşimi etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Kalsiyum ve fosfat iyonları gibi inorganik moleküller hidroksile/hidrate TiO<sub>2</sub> yüzeye kandan kolayca absorbe olurlar.<sup>13</sup> TiO<sub>2</sub> yüzeye protein, lipoprotein, peptid gibi organik moleküllerin yüzeye adsorbsiyonuna önderlik eden bu hücre yüzey arası ilişkilerdir. Bu ilişki ile elektrostatik olarak pozitif olarak yüklenmiş aminoasit grupları (örneğin NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) ile negatif olarak yüklenmiş TiO<sub>2</sub> yüzey arasında ya da negatif olarak yüklenmiş aminoasit gruplarıyla (-COO<sup>-</sup> gibi) önceden negatif olan TiO<sub>2</sub> yüzeye adsorbe edilmiş Ca<sup>++</sup> köprüler arasında gerçekleşir. Buna ek olarak -COO<sup>-</sup> bir grubun Ti katyonlarına doğrudan bağlanması da hidroksil gruplarının yerini alabilir.<sup>13,21,22</sup>

ABSP'nin yaşayan konak dokusu üzerine zararlı ya da fonksiyonunu etkileyici bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir.<sup>23,24</sup> Titanyum diskler ile yapılan çalışmalarda mikro yapıyı bozmadığı ve bir aerosol sprey ile beraber kullanıldığında ex-vivo biyofilm formasyonunu bozarak kaldırdığı bu sayede implant yüzeyinde bakterisit etkisi olduğu gösterilmiştir.<sup>25</sup> Mikrobiyal dirençten bağımsız

olarak bakteri öldürücü etkisi nedeniyle peri-implanter enfeksiyonların tedavisinde de umut verici görülmüştür.<sup>26,27</sup> Bir diğer in-vitro bir çalışmada, serum irrigasyonu, diyet lazer uygulaması ve ABSP uygulaması bakterisit etkileri açısından titanyum diskler üzerinde karşılaştırılmıştır. Kontrol grubuna ve lazer grubuna göre soğuk atmosferik plazma bakterisit etki açısından daha iyi bulunmuştur.<sup>28</sup>

Atmosferik basınçlı soğuk plazma, yüzey ıslanabilirliğini etkili şekilde değiştirebilmesi, dekontaminasyon sağlaması ve yüzeye bu olumlu etkileri gerçekleştirirken zarar vermemesi nedeniyle, hidrofilik yüzey elde etmek için kolay ve öngörülebilir bir yöntem olarak tarafımızca tercih edilmiştir. Ancak kullanacağımız cihazın daha önce yapılan çalışmalarda herhangi bir etkin mod ve süre kombinasyonu belirlenmemiştir. Bu nedenle yüzey ıslanabilirliğini maksimum ölçüde arttıracak kombinasyonu belirlemek temel amacımız olarak seçilmiştir.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

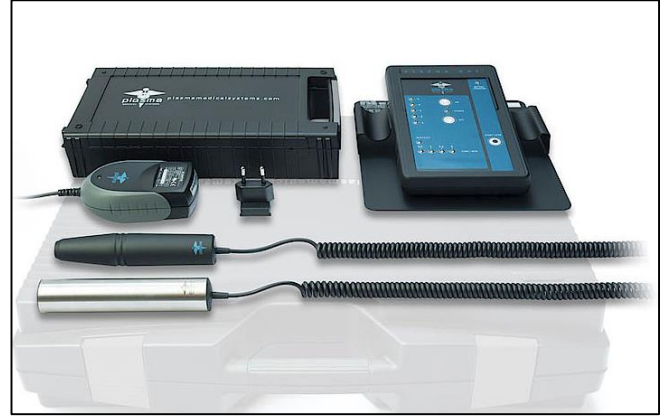
Çalışmamızda kullanılan tüm diskler Bilimplant® (Bilimplant, Proimtech, İstanbul, Türkiye) firması tarafından bilimsel amaçlı kullanılmak üzere tarafımıza hibe edilmiştir. Titanyum diskler Grade IV Titanyum olup, SLA® yüzeyli diskler kuru olarak steril folyolara sarılı ve steril paketlenmiş şekilde tarafımıza teslim edilmiştir.

Çalışmamızda atmosferik basınçlı soğuk plazma kaynağı olarak Plasma One (Plasma Medical Systems, GmbH, Germany) kullanılmıştır (Şekil 1a, Şekil 1b).



**Şekil 1a**

Çalışmamızda kullandığımız ABSP kaynağı Plasma One (Plasma Medical Systems, GmbH, Germany). Resimde görüldüğü gibi cihaz üzerinde 5 farklı uygulama modu bulunmaktadır. Cihaz çalıştığı sürece alttaki sn göstergesinden süre takip edilmektedir.



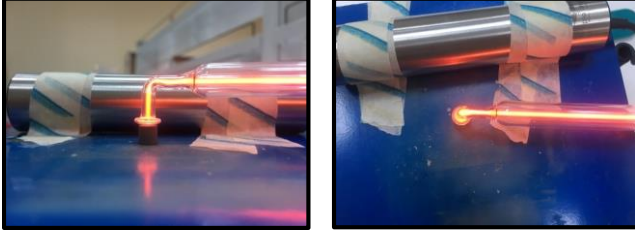
**Şekil 1b**

Çalışmamızda kullandığımız ABSP kaynağı Plasma One (Plasma Medical Systems, GmbH, Germany). Resimde görüldüğü gibi cihaz üzerinde 5 farklı uygulama modu bulunmaktadır. Cihaz çalıştığı sürece alttaki sn göstergesinden süre takip edilmektedir.

ABSP cihazının 5 farklı uygulama modu bulunmaktadır. Birden beşe kadar artan seviyeler plazma konsantrasyonunun yoğunluğunu temsil etmektedir. Seviye 1-2 düşük yoğunluk olarak belirtilmiş olup cihaz endikasyon tablosunda hassas dişler ve dokularda tedavi amaçlı, profilaksi için ve çocuklarda kullanım için olduğu belirtilmiştir. Seviye 3-4 orta yoğunluk olarak belirtilmiş olup aftlarda, yanıklarda, yara iyileşmesinde, cerrahi operasyonlardan sonra ve hematoma tedavisinde kullanılması tavsiye edilmiştir. Seviye 4-5 ise yüksek yoğunluk olup abselerde, bakteriyel, viral ve fungal enfeksiyonlarda, sekonder enfeksiyonlar ile karakterize yara iyileşme bozukluklarında, periodontal hastalıkların tedavisinde, kanal tedavisinde ve implantasyonda kullanılması tavsiye edilmiştir. Ancak yüzey modifikasyonu için belirtilen bir ayar olmadığı ve bu cihaz kullanılarak yapılmış herhangi bir öncül çalışma bulunmadığı için gelecekte yapılacak hayvan deneyleri ve klinik çalışmalarda kullanılmak üzere optimum düzeyde ıslanabilirlik sağlayan uygulama modu ve optimum yararlılık sağlayan sürenin belirlenmesi için bu çalışma tarafımızca planlanmıştır.

Çalışmamızda 48 adet titanyum SLA® yüzeyli disk kullanılmıştır. Öncelikle plazma uygulaması ile muamele edilmemiş 3 adet disk üzerinde daha sonra ise 1, 3, ve 5. modlarda 15 sn, 30 sn, 45 sn, 60 sn ve 120 sn boyunca (her zaman aralığı için 3'er disk) sabit hazırlanmış bir düzenek üzerinde plazma kaynağının ucu disklerden 2 mm uzaklıkta olacak şekilde (Şekil 2a, 2b) PS12 nolu uç (Şekil 3a) kullanılarak plazma ile muamele edilmiş diskler üzerinde KSV Attension Theta gonyometre (Biolin Scientific, Stockholm, Sweden) cihazı ile yüzey su kontak açısı belirlendi (Şekil 3b). Cihaza sabitlenmiş enjektör ile titanyum yüzeye 2 µL su

damlatılarak kontak açısı ( $\theta$ ) fotoğraflandı ve bilgisayar programı tarafından hesaplandı.



Şekil 2a-2b

İslanabilirliği en çok arttıran plazma uygulama modu ve süresini belirlemek için sabit düzenek kullanılarak yapılan plazma uygulaması

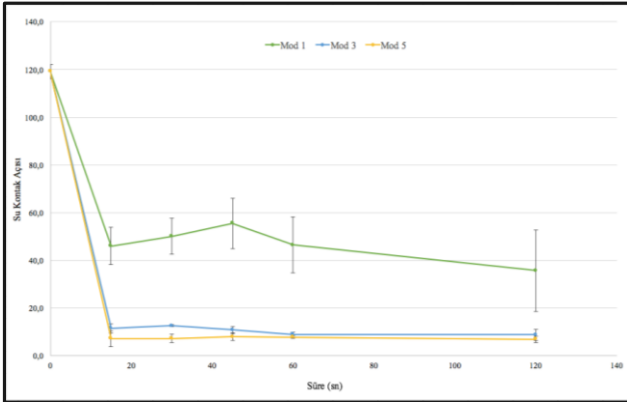


Şekil 3a-3b

a)Plazma uygulamasında kullanılan PS-12 nolu uç  
b)Plazma uygulaması sonrası disklerin su kontak açılarının belirlendiği ölçüm cihazı

## BULGULAR

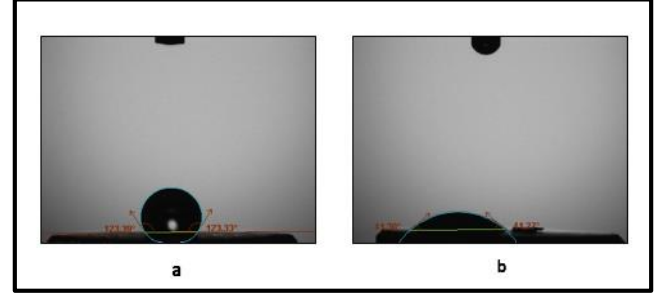
Plazma uygulaması öncesi ve sonrası su kontak açısı ( $\theta$ )bilgisayar programı tarafından hesaplandı. Uygulama parametrelerine göre kontak açısı değişimi grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7

Uygulama modu ve süresine göre kontak açısı değişimi grafiği

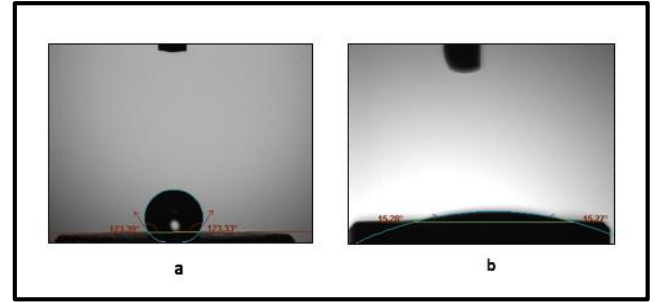
Plazma uygulaması öncesinde kontak açısı  $119\pm 5.4^\circ$  olarak gözlenirken 1. mod ile plazma uygulaması sonucu 15, 30, 45, 60, 120 sn zaman aralıklarında yapılan ölçümlerde su kontak açısı;  $46\pm 13.5^\circ$ ,  $50\pm 13.2^\circ$ ,  $55\pm 18.3^\circ$ ,  $46.4\pm 20.3^\circ$  ve  $35.6\pm 29^\circ$  olarak ölçülmüştür. 1. mod için en fazla kontak açısı değişimi 120 sn'de gözlenmiş (Şekil 4a, 4b) ve  $119\pm 5.4^\circ$ den  $35.6\pm 29^\circ$  ye inmiştir.



Şekil 4a-4b

a) Plazma uygulamadan önceki kontak açısı ölçümü  
b) 1. Mod ile 120 sn boyunca plazma uygulaması sonrası kontak açısı ölçümü

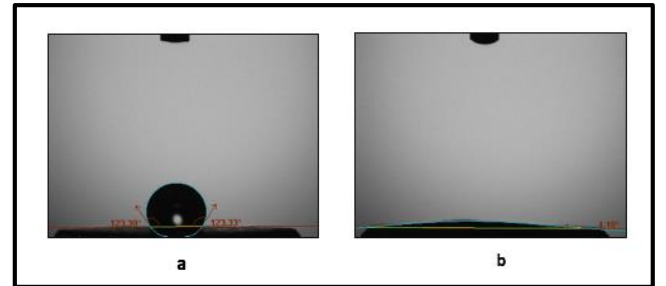
3. mod ile plazma uygulaması sonucu 15, 30, 45, 60, 120 sn zaman aralıklarında yapılan ölçümlerde su kontak açısı;  $11.5\pm 3.4^\circ$ ,  $12.5\pm 0.8^\circ$ ,  $10.7\pm 2.2^\circ$ ,  $8.9\pm 1.7^\circ$  ve  $8.7\pm 4^\circ$  olarak ölçülmüştür. 3.mod için en fazla kontak açısı değişimi 120 sn' de gözlenmiş (Şekil 5a, 5b) ve  $119\pm 5.4^\circ$  den  $8.7\pm 4^\circ$  ye inmiştir.



Şekil 5a-5b

a) Plazma uygulamadan önceki kontak açısı ölçümü  
b) 3. Mod ile 120 sn boyunca plazma uygulaması sonrası kontak açısı ölçümü

5. mod ile plazma uygulaması sonucu 15, 30, 45, 60, 120 sn zaman aralıklarında yapılan ölçümlerde su kontak açısı;  $7.1\pm 5.8^\circ$ ,  $7.1\pm 3^\circ$ ,  $7.8\pm 2.4^\circ$ ,  $7.7\pm 0.9^\circ$  ve  $6.8\pm 2.1^\circ$  olarak ölçülmüştür. 5. mod için en fazla kontak açısı değişimi 120' sn de gözlenmiş (Şekil 6a, 6b) ve  $119\pm 5.4^\circ$  den  $6.8\pm 2.1^\circ$  ye inmiştir.



Şekil 6a-7b

a) Plazma uygulamadan önceki kontak açısı ölçümü  
b) 5. Mod ile 120 sn boyunca plazma uygulaması sonrası kontak açısı ölçümü

Her bir zaman aralığında uygulama modları karşılaştırıldığında, uygulama öncesine göre kontak açısındaki değişim miktarı 5. Mod > 3. Mod > 1. Mod

olarak belirlenmiştir.

Bütün uygulama mod ve süreleri arasında kontak açısı değerindeki en büyük azalma; 5. mod ile 120 sn sürede yapılan uygulama sırasında gözlenmiş ve bu sebeple hücre kültürü öncesinde yapılan plazma uygulamasında bu değerlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 6a'da plazma uygulaması öncesinde yüzeye damlatılan suyun dağılmadığı, Şekil 6b' de ise 120 sn plazma uygulaması sonucu damlatılan suyun yüzeyi tamamen ıslattığı görülmektedir. Görüntüde 5. modda 120 sn plazma uygulamasının hidrofilisiteyi ciddi düzeyde arttırdığı ve yüzeyi süperhidrofilik hale getirdiği kanıtlanmıştır.

## TARTIŞMA

Çalışmamızda Grade IV Titanyumdan yapılmış SLA® yüzeyli disklere farklı mod ve sürelerde plazma uygulaması yapılarak en etkin mod ve süre kombinasyonu araştırılmıştır. Çalışmamızda kullanılan plazma kaynağı, atmosferik basınçlı soğuk plazma kaynağı olan Plasma One cihazıdır. Plazma, maddenin dördüncü hali olarak bilinir ve doğal olarak güneşte, yıldızlarda, aurora da ve şimşekte gerçekleşir. İyonlar, elektronlar, serbest radikaller, elektronik olarak yüklü nötr parçacıklar gibi yüksek derecede reaktif türleri bol miktarda içerir. Bir yüzey plazmaya maruz kaldığında, substratın yüzey özellikleri bu yüklü türlerin bombardımanı sonucu modifiye olur.<sup>29</sup> Plazma ile yüzey muamelesi, temiz ve etkili olarak belirtilmiştir ve materyalin kütle özelliklerini değiştirmeden ya da iyi korunmuş şekilde uygulama yapılmasını sağlamaktadır.<sup>29</sup> Klinik ortamda kullanılmayacak düşük basınç ve büyük jeneratörler gerektiren cihazların aksine, atmosferik basınçta çalışan cihazların kullanılması klinik ortamda hasta başında yüzey modifikasyonu yapabilmeye olanak sağlarlar.<sup>6</sup> Non-termal plazmaların geliştirilmesi, yüzey mühendisliği, katı haldeki malzemelerin modifikasyonu, plazma ile temizleme, aşındırma, adezyon artırma ve biyomateryal geliştirme alanlarında plazma teknikleri açısından büyük başarılar sağlamıştır. Literatürde plazma uygulaması yapılan çalışmalarda farklı gaz kompozisyonları içeren plazma kaynakları kullanılmıştır. Argon bazlı plazma<sup>2,6,16</sup>, nitrojen plazma<sup>30</sup>, sıkıştırılmış atmosferik kompozisyonu kullanan plazma<sup>31</sup>, oksijen ve helyum bazlı plazma<sup>32</sup> gibi farklı gaz kompozisyonlardan oluşan plazma kaynakları ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Çalışmamızda kullandığımız atmosferik basınçlı plazma kaynağı, argon gibi soy gazların karışımını gerektirmemekte, iyonizasyon ve plazma üretimi için yalnızca ortam havasına dayanmaktadır. Bulunan havayı iyonize hale getirerek soğuk plazma yaratır ve hızlı, güvenli bir metot sağlar. Bu nedenle çalışma sonuçlarında olumlu değişimler görülmesi halinde, klinik kullanımda hasta başında uygulamaya olanak sağlayabilecek bir plazma kaynağı tercih edilmiştir.

ABSP kaynağı ile yüzey modifikasyonunda kullanılması en uygun olan ayarları belirleyebilmek için cihaz üzerinde mevcut olan 5 güç ayarından 1, 3 ve 5. modlar kullanılarak uygulama yapılmış ve uygulamayı takiben hemen gonyometre cihazı ile su kontak açıları ölçülmüştür. Her diske yapılan uygulamanın eşit olması için sabit oluşturulmuş bir düzenek kullanılmıştır. Uygulama süresi 15, 30, 45, 60 ve 120 sn olarak belirlenmiştir. Farklı çalışmalarda uygulama süreleri ve gaz kompozisyonları değişiklik göstermiştir. Bazı çalışmalarda 30, 60, 120 sn<sup>11</sup>, bazılarında 60sn<sup>33</sup>, bazılarında 60, 120 sn<sup>28,34</sup>, bazılarında 20 sn<sup>2</sup>, bazılarında 20, 60 sn<sup>6</sup> gibi farklı uygulama süreleri kullanılmıştır. Bu nedenle bizim çalışmamızda genel olarak literatürde kullanılan uygulama sürelerinde deneme yapılmıştır.

Yapılan plazma uygulamaları sonrası elde edilen kontak açısı değerleri karşılaştırıldığında, başlangıçta  $119 \pm 5.4^\circ$  olarak ölçülen değerler, her uygulama periyodu sonrası anlamlı azalma göstermiştir. Enerji seviyesi arttıkça kontak açısı değerleri azalmıştır ve en çok azalma mod 5, onu takiben mod 3 ve mod 1 olarak görülmüştür. Uygulama süreleri değerlendirildiğinde ise her mod için en düşük kontak açısı değeri 120 sn'de (mod 1 için  $35.6 \pm 29^\circ$ , mod 3 için  $8.7 \pm 4^\circ$ , mod 5 için  $6.8 \pm 2.1^\circ$ ) saptanmıştır.

Literatüre bakıldığında, farklı yüzeyli materyaller ile yapılan çalışmada, SLA® yüzey için belirtilen değerler incelendiğinde plazma uygulaması sonrası kontak açısı ölçümünün zamanla orantılı olarak  $117.18 \pm 0.07^\circ$ 'den 30 sn' de  $4.20 \pm 0.44^\circ$ 'ye ve 60 sn den itibaren 0 dereceye ulaştığı gözlenmiştir.<sup>11</sup> Başka bir çalışmada mine, dentin ve farklı kompozit materyallere yapılan atmosferik basınçlı argon plazma uygulamasında da kontak açıları uygulama süresi arttıkça düşmüştür ve materyale bağlı olarak kontak açısı değerleri değişmiştir. Ancak her materyalde 30 sn' lik uygulama sonucu hidrofilik özelliğe ulaşılmıştır.<sup>29</sup> Bizim çalışmamız ile uyumlu olarak süre uzadıkça kontak açısı değerleri düşmüştür. Çalışmamızdan farklı olarak 0 dereceye ulaşılmış olmasının kullanılan gaz kompozisyonunun argon gazı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Polietilen tereftalat yüzeylere oksijen ve nitrojen plazma uygulanan bir çalışmada da daha uzun uygulama süresinde ıslanabilirliğin daha fazla arttığı gösterilmiş, oksijen plazma uygulanan grupta 90 sn uygulama süresi sonunda  $3^\circ$  kontak açısı tespit edilmiştir. Nitrojen plazma uygulanan grupta ise 90 sn uygulama süresi kontak açısını  $11^\circ$  ye düşürmüştür.<sup>35</sup> Bu sonuçlara göre plazma kaynağının gaz kompozisyonu, elde edilen ıslanabilirlik miktarını değiştirebilir sonucuna varılabilir. Su kontak açısı  $90^\circ$ 'den fazla olan yüzeyler hidrofobik,  $90^\circ$ 'den az olan yüzeyler hidrofilik olarak adlandırılmıştır.<sup>36</sup> Vogler' i takiben bu sınır değerler biraz değişmiş ve kontak açısı  $65^\circ$ 'den az olan

yüzeyleler orta hidrofiliik olarak adlandırılmış, bu şekilde temas açısı  $<65^{\circ}$  olan yüzeylelerin protein itici davranışlarını açıklanmıştır.<sup>37</sup> Başka bir çalışmada  $30-60^{\circ}$  arasında orta düzey hidrofiliik özelliğe sahip materyal yüzeylelerinin, serum protein adsorbsiyonunu geliştirdiğini ve hücre adezyonunu güçlendirdiğini belirtmiştir.<sup>38</sup> Süperhidrofiliik yüzeyleler ise su kontak açısı  $10^{\circ}$ ' nin altında olan yüzeyleler olarak literatürde belirtilmişlerdir.<sup>36</sup> Çalışmamızda elde edilen değerler de 5. mod için 120 sn uygulama süresi sonunda ortalama  $6.8\pm 2.1^{\circ}$  olarak belirlenmiştir. Bu durumda plazma uygulamasının süperhidrofiliik yüzey elde edilmesini sağladığı sonucu çıkarılabilir.

## SONUÇ

Çalışmamızda plazma uygulaması özellikle 5. Mod kullanılarak 120 sn uygulama yapıldığında ıslanabilirliği arttırmada etkili bulunmuştur ve süperhidrofiliik bir yüzey sağlamıştır. Çalışmamızda kullandığımız ABSP kaynağı geçmişte kullanılan plazma cihazları aksine klinikte hasta başında kullanılabilir bir cihaz olması nedeniyle tercih edilmiştir ve gelecekte aynı plazma kaynağı kullanılarak yapılacak olan in vitro ve klinik çalışmalarda kullanılacak olan optimum süre ve mod belirlenmesi açısından bir ön çalışma niteliği taşımaktadır. Gelecekte plazma uygulamasına tabii tutulan implantların, günümüzde klinik pratikte kullanılan ticari hidrofiliik yüzeyli implantlara bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bilimplant® (Bilimplant, Proimtech, İstanbul, Türkiye) firmasına çalışmamızda kullanılan SLA yüzeyli Grade IV Titanyum diskleri sağladığı için teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

1. Lieberman MA, Lichtenberg AJ. Principles of plasma discharges and materials processing: John Wiley & Sons; 2005.
2. Giro G, Tovar N, Witek L, et al. Osseointegration assessment of chairside argon-based nonthermal plasma-treated Ca-P coated dental implants. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 2013;101:98-103.
3. Aronsson BO, Lausmaa J, Kasemo B. Glow discharge plasma treatment for surface cleaning and modification of metallic biomaterials. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials and The Japanese Society for Biomaterials* 1997;35:49-73.
4. Baier RE, Meyer AE. Implant surface preparation. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 1988;3.
5. Becker KH, Kogelschatz U, Schoenbach K, Barker R. Non-equilibrium air plasmas at atmospheric pressure: CRC press; 2004.
6. Teixeira HS, Marin C, Witek L, et al. Assessment of a chairside argon-based non-thermal plasma treatment on the surface characteristics and integration of dental implants with textured surfaces. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 2012;9:45-49.
7. Foest R, Kindel E, Lange H, Ohl A, Stieber M, Weltmann KD. RF capillary jet-a tool for localized surface treatment. *Contributions to Plasma Physics* 2007;47:119-128.
8. Foest R, Schmidt M, Becker K. Microplasmas, an emerging field of low-temperature plasma science and technology. *International Journal of Mass Spectrometry* 2006;248:87-102.
9. Kilpadi DV, Lemons JE. Surface energy characterization of unalloyed titanium implants. *Journal of biomedical materials research* 1994;28:1419-1425.
10. Fridman A. Plasma chemistry: Cambridge university press; 2008.
11. Duske K, Koban I, Kindel E, et al. Atmospheric plasma enhances wettability and cell spreading on dental implant metals. *Journal of clinical periodontology* 2012;39:400-407.
12. Xu L-C, Siedlecki CA. Effects of surface wettability and contact time on protein adhesion to biomaterial surfaces. *Biomaterials* 2007;28:3273-3283.
13. Buser D, Broggini N, Wieland M, et al. Enhanced bone apposition to a chemically modified SLA titanium surface. *Journal of dental research* 2004;83:529-533.
14. Santos O, Svendsen IE, Lindh L, Arnebrant T. Adsorption of HSA, IgG and laminin-1 on model titania surfaces—effects of glow discharge treatment on competitively adsorbed film composition. *Biofouling* 2011;27:1003-1015.
15. Jimbo R, Ivarsson M, Koskela A, Sul Y-T, Johansson CB. Protein adsorption to surface chemistry and crystal structure modification of titanium surfaces. *Journal of oral & maxillofacial research* 2010;1.
16. Coelho PG, Giro G, Teixeira HS, et al. Argon-based atmospheric pressure plasma enhances early bone response to rough titanium surfaces. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 2012;100:1901-1906.
17. Foest R, Kindel E, Ohl A, Stieber M, Weltmann K. Non-thermal atmospheric pressure discharges for surface modification. *Plasma Phys Control Fusion* 2005;47:B525-B536.
18. Massaro C, Rotolo P, De Riccardis F, et al. Comparative investigation of the surface properties of commercial titanium dental implants. Part I: chemical composition. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 2002;13:535-548.
19. Rupp F, Scheideler L, Olshanska N, De Wild M, Wieland M, Geis-Gerstorfer J. Enhancing surface free energy and hydrophilicity through chemical modification of microstructured titanium implant surfaces. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials* 2006;76:323-334.
20. Rupp F, Scheideler L, Rehbein D, Axmann D, Geis-Gerstorfer J. Roughness induced dynamic changes of wettability of acid etched titanium implant modifications. *Biomaterials* 2004;25:1429-1438.
21. Textor M, Sittig C, Frauchiger V, Tosatti S, Brunette DM. Properties and biological significance of natural oxide films on titanium and its alloys. In: *Titanium in medicine*: Springer, 2001:171-230.
22. Steinemann SG. Titanium—the material of choice? *Periodontology* 2000 1998;17:7-21.
23. Fluhr JW, Sassning S, Lademann O, et al. In vivo skin treatment with tissue-tolerable plasma influences skin physiology and antioxidant profile in human stratum corneum. *Experimental dermatology* 2012;21:130-134.
24. Lademann JM, Richter H, Alborova A, et al. Risk assessment of the application of a plasma jet in dermatology. *Journal of biomedical optics* 2009;14:054025.
25. Rupf S, Idlibi AN, Al Marrawi F, et al. Removing biofilms from microstructured titanium ex vivo: a novel approach using atmospheric plasma technology. *PloS one* 2011;6:e25893.
26. Haertel B, Von Woedtke T, Weltmann K-D, Lindequist U. Non-thermal atmospheric-pressure plasma possible application in wound healing. *Biomolecules & therapeutics* 2014;22:477.
27. Daeschlein G, Napp M, von Podewils S, et al. Antimicrobial efficacy of a historical high-frequency plasma apparatus in comparison with 2 modern, cold atmospheric pressure plasma devices. *Surgical innovation* 2015;22:394-400.

- 28.Preissner S, Wirtz HC, Tietz AK, et al. Bactericidal efficacy of tissue tolerable plasma on microrough titanium dental implants: An in-vitro-study. *Journal of biophotonics* 2016;9:637-644.
- 29.Chen M, Zhang Y, Driver MS, Caruso AN, Yu Q, Wang Y. Surface modification of several dental substrates by non-thermal, atmospheric plasma brush. *Dental Materials* 2013;29:871-880.
- 30.da Silva JSP, Amico SC, Rodrigues AON, Barboza CAG, Alves Jr C, Croci AT. Osteoblastlike Cell Adhesion on Titanium Surfaces Modified by Plasma Nitriding. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 2011;26.
- 31.Danna NR, Beutel BG, Tovar N, et al. Assessment of atmospheric pressure plasma treatment for implant osseointegration. *BioMed research international* 2015;2015.
- 32.Lee K, Paek K-h, Ju W-T, Lee Y. Sterilization of bacteria, yeast, and bacterial endospores by atmospheric-pressure cold plasma using helium and oxygen. *The Journal of Microbiology* 2006;44:269-275.
- 33.Murat U, KAPILI MB, ERCAN UK, et al. Atmosferik Soğuk Plazma ile Modifiye Edilen Titanyum Yüzeylerde Osteojenik Hücre Aktivitelerinin Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018;22:313-318.
- 34.Shibata Y, Hosaka M, Kawai H, Miyazaki T. Glow discharge plasma treatment of titanium plates enhances adhesion of osteoblast-like cells to the plates through the integrin-mediated mechanism. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 2002;17.
- 35.Junkar I, Vesel A, Cvelbar U, Mozetič M, Strnad S. Influence of oxygen and nitrogen plasma treatment on polyethylene terephthalate (PET) polymers. *Vacuum* 2009;84:83-85.
- 36.Rupp F, Liang L, Geis-Gerstorfer J, Scheideler L, Hüttig F. Surface characteristics of dental implants: A review. *Dental Materials* 2018;34:40-57.
- 37.Vogler EA. Protein adsorption in three dimensions. *Biomaterials* 2012;33:1201-1237.
- 38.Arima Y, Iwata H. Effect of wettability and surface functional groups on protein adsorption and cell adhesion using well-defined mixed self-assembled monolayers. *Biomaterials* 2007;28:3074-3082.

Yazışma Adresi:

Selin GENÇ KOCAAYAN  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi  
Periodontoloji AD.  
İzmir, Türkiye  
E Posta: s.selingenc@gmail.com