



ARAŞTIRMA / RESEARCH

Döküm tekniğinin sabit protetik diş tedavisinde kullanılan Co-Cr alaşımlarının mikrosertlik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi

Effect of casting technique on microhardness and microstructure properties of Co-Cr alloys used in fixed prosthetic dental treatment

Ahmet Özkömür¹, Orhun Ekren¹

¹Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Adana, Turkey

Cukurova Medical Journal 2018;43(3):539-544

Abstract

Purpose: The purpose of this work was to investigate the effect of different casting methods on microstructure and microhardness of Co-Cr base alloys.

Materials and Methods: Following the wax model preparation, 3 different methods were used for casting the test specimens consisting of 8mm high and 4mm diameter cylinders: 1) Acetylene-oxygen flame; 2) Electromagnetic induction/centrifugation; 3) Electromagnetic induction/vacuum injection. After the longitudinal sectioning of the specimens, surface preparation, polishing and chemical etching processes were carried out in order to observe the microstructure. The microstructure of the samples was examined by scanning electron microscopy. Vickers microhardness values were measured using a load of 2.94 N and a dwell time of 15 seconds.

Results: The acetylene-oxygen flame casting showed higher microhardness values compared to induction/centrifugation and induction/vacuum injection molding. No difference was found between induction based casting methods. It was determined that Co-Cr base alloys show characteristic dendritic microstructure in all casting methods.

Conclusion: Metallic substructures obtained by the acetylene-oxygen flame casting method have a higher microhardness than those obtained by electromagnetic induction based casting methods. The casting method has no effect on the microstructure of the alloys.

Key words: Casting, hardness, dental alloy

Öz

Amaç: Bu çalışmanın amacı, sabit protetik diş tedavisinde kullanılan farklı döküm yöntemlerinin Co-Cr baz alaşımının mikroyapısı ve mikrosertliği üzerine etkisinin incelenmesidir.

Gereç ve Yöntem: Mum modellerin hazırlanması sonrası, 8mm yüksekliğinde ve 4mm çapında silindirlere oluşan test örneklerinin dökümü için 3 farklı yöntem kullanılmıştır: 1) Asetilen-oksijen alevi; 2) Elektromanyetik indüksiyon/santrifüj; 3) Elektromanyetik indüksiyon/vakum enjeksiyon. Örneklerin uzunlamasına kesilmesini takiben, mikroyapının gözlemlenebilmesi için yüzey hazırlama, parlatma ve kimyasal dağlama işlemleri uygulanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile örneklerin yüzey mikroyapısı incelenmiştir. Vickers mikrosertlik değerleri 2.94N yük ve 15 saniye yükleme süresi kullanarak ölçülmüştür.

Bulgular: Asetilen-oksijen alev dökümü, indüksiyon/santrifüj ve indüksiyon/vakum enjeksiyon dökümlerine kıyasla daha yüksek mikrosertlik değerleri göstermişlerdir. İndüksiyon esaslı döküm yöntemleri arasında bir fark bulunmamıştır. Tüm döküm yöntemlerinde, Co-Cr baz alaşımların karakteristik dendritik mikroyapı gösterdiği belirlenmiştir.

Sonuç: Asetilen-oksijen alevi döküm yöntemi ile elde edilen metal altyapılar, elektromanyetik indüksiyon esaslı döküm yöntemleri ile elde edilenlerden daha yüksek mikrosertliğe sahiptir. Döküm yönteminin, alaşımların mikroyapıları üzerine etkisi yoktur.

Anahtar kelimeler: Döküm, sağlamlık testleri, dental alaşım

GİRİŞ

Yüzümüz her ne kadar vücudumuzun geri kalan yüzeyine oranla oldukça küçük olsa da, sosyal kimliklerimizi temsil eder. Yüzümüzde anatomik, estetik ve biyomekanik birçok şekillere neden olan diş kaybının, bireylerin yaşamları üzerine estetik, fonksiyonel, psikolojik ve sosyal açılardan direk etkisi vardır.

Kısmi dişsizlik sahibi olan hastalarda protetik rehabilitasyonun amacı fonksiyon ve estetiği tatmin edici seviyede ve mümkün olan en uzun ömürle yeniden sağlamaktır. Bu amaç ile kullanılan klinik seçenekler, sabit protezler, hareketli bölümlü protezler ve implant destekli protezlerdir. Kısmi diş eksikliğine sahip hastaların protetik tedavileri en yaygın ve efektif olarak sabit protezler ile gerçekleştirilebilir. Sabit protetik restorasyonlar ile hastaların çigneme fonksiyonlarının yanı sıra estetik beklentileri de başarı ile karşılanabilmektedir. Metal-seramik restorasyonlar diş destekli ve implant destekli sabit protezlerde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Metal-seramik restorasyonlar, kırılğan bir malzeme olan seramiğin estetik özellikleri ile, metal alaşımların dayanıklılık ve üstün kenar uyumu özelliklerini birleştirir¹.

Kullanılacak olan alaşımın seçimi birçok faktör tarafından belirlenir. Bunlar arasında maliyet, mekanik dayanıklılık, korozyon dayanımı ve biyouyumluluk en önemlileridir. Soy metal alaşımların sahip oldukları üstün özelliklere rağmen yüksek üretim maliyetleri sebebi ile kullanımları oldukça azalmıştır. Bu alaşımlara alternatif olarak üretilen daha ekonomik seçenekler arasında Co-Cr esaslı alaşımlar sabit protezlerin üretiminde giderek daha çok popülerlik kazanmaktadır. Düşük maliyetin yanı sıra Co-Cr alaşımları, yüksek elastik modülü, kolay çalışılabilme, kolay dökülebilirlik, yüksek korozyon direnci ve biyouyumluluk gibi özelliklere de sahiptirler².

Gaz-hava alevi/santrifüj döküm yöntemi Jameson ve Cole tarafından yaklaşık 100 yıl önce geliştirilmiştir³. Günümüzde, döküm işleminin daha kontrollü ortamlarda gerçekleştirilmesini sağlayan indüksiyon/santrifüj ve indüksiyon/vakum enjeksiyon gibi yöntemler mevcuttur.

Döküm tekniği de dahil olmak üzere dökülen metalin mekanik ve yapısal özelliklerini değiştirebilecek çeşitli faktörler mevcuttur. Mikroyapı ve tane boyutu metallerin mekanik

özelliklerini önemli derecede etkiler. Küçük tane boyutu korozyon direncinin ve yorgunluk direncinin daha yüksek olması sebebi ile genellikle arzu edilir^{2,4}. Bazı metal alaşımları döküm sonrası genellikle dendritik mikroyapı sergilerler. Bu yapı tane sayımına ve boyut belirlenmesine genellikle uygun değildir. Buna alternatif olarak birincil ve ikincil dendrit kol aralığı değişkenleri metalürjik yapıyı tanımlama ve ayırt etmede kullanılır. Düşük dendrit kol aralığı alaşımın mekanik dayanımının artmasını sağlar.

Bazı çalışmalar, döküm tekniğinin soy ve baz alaşımların mekanik performansında önemli farklar oluşturabileceğini göstermiştir^{5,6}. Ancak Compagni ve arkadaşları⁷ dört farklı döküm tekniğini test etmiş ve altın bazlı alaşımlar için tüm tekniklerde benzer ve kabul edilebilir sonuçlar bulmuştur. Mikrosertlik ve döküm tekniği arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalar, asetilen-oksijen alev dökümü ile indüksiyon/santrifüj dökümüne kıyasla daha yüksek mikrosertlik değerlerinin bulunduğunu bildirmektedir^{5,8}.

Öte yandan Tajima ve arkadaşları⁹, indüksiyon/santrifüj tekniği ile daha yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği çalışmalarında aynı sonuçları gözlemlememiştir. Thomson ve arkadaşları⁶ ise yapmış oldukları araştırma sonucunda döküm tekniğinin mikrosertlik değerlerine etkisinin bulunmadığını bildirmişlerdir. Literatürde döküm tekniği ve mikrosertlik ilişkisini inceleyen çalışmalarda bulunan çelişkili sonuçları açıklamak henüz mümkün değildir. Bu konuyu aydınlatmak için yeni araştırmalar uygulanmalıdır. Ayrıca, söz konusu çalışmalarda kullanılan baz alaşımlar genellikle Ni-Cr esaslıdır. Bu çalışmanın amacı, sabit protetik diş tedavisinde kullanılan farklı döküm yöntemlerinin (asetilen-oksijen alevi, indüksiyon/santrifüj ve indüksiyon/vakum enjeksiyon) Co-Cr esaslı bir baz metal olan Co-Cr-Ga-Nb dörtlü alaşımın mikroyapısı ve mikrosertliği üzerine etkisinin değerlendirilmesidir. Bu araştırma için iki adet hipotez belirlenmiştir: 1) Döküm yöntemlerinin Co-Cr alaşımların sertliği üzerine etkisi yoktur. 2) Döküm yöntemlerinin Co-Cr alaşımların mikroyapıları üzerine etkisi yoktur.

GEREÇ VE YÖNTEM

Test örneklerini hazırlanması

Bu çalışmadaki test örnekleri sabit protez yapımında kullanılan Co-Cr esaslı bir alaşımdan (IPS d.SIGN

30; Ivoclar Vivadent AG, Almanya) elde edilmiştir. Kullanılan alaşımın üretici firma tarafından belirtilen fiziksel özellikleri Tablo 1 de sunulmuştur.

Tablo 1. Alaşımın üretici firma tarafından belirtilen özellikleri.

Bileşim	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik	Termal genişleme katsayısı (µm/K)	Döküm ısısı (°C)
Co:60,2 - Cr:30,1 Ga:3,9 - Nb:3,2 Si,Mo,Fe,B,A Li<1	7.8	385	14.7	1240- 1350

Co: Kobalt, Cr: Krom, Ga: Galyum, Nb: Niyonyum, Si: Silisyum, Mo: Molibden, Fe: Demir, B: Bor, Al: Alüminyum, Li: Lityum

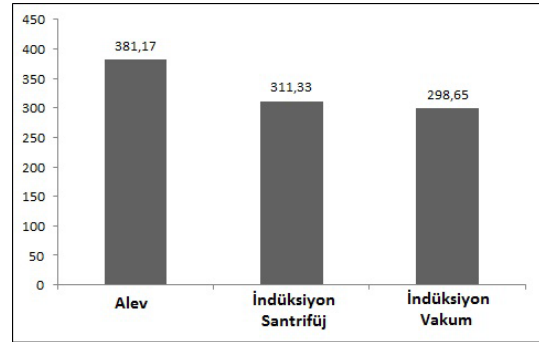
Asetilen-oksijen alevi, indüksiyon/santrifüj ve indüksiyon/vakum enjeksiyon döküm yöntemlerinin uygulandığı test gruplarının her biri için 8 mm yüksekliğinde ve 4 mm çapında silindirlere oluşan 9 adet test örneği hazırlanmıştır. Döküm test örneklerinin oluşturulması amacıyla hazırlanan mum (Geo; Renfert, Almanya) modeller tijenerek döküm manşetlerine yerleştirilmiş ve fosfat bağlı karbonsuz bir revetman (Micro-fine 1700; Talladium Inc), manşetlere dökülerek bir saat süre ile sertleşmesi için bekletilmiştir.

Döküm manşetleri mum atım işleminin gerçekleştirilmesi için en yüksek sıcaklık seviyesi 850°C olmak üzere 1 saat süre ile bir ön ısıtma fırınında (Miditherm 100MP; Bego) ısıtma maruz bırakılmışlardır. Takiben, test örneklerinin dökümü için 3 farklı yöntem kullanılmıştır: 1) Asetilen-oksijen alevinin alaşımın eritilmesi için kullanıldığı ve eriyik alaşımın santrifüj ile döküm manşetine enjekte edildiği döküm yöntemi (EDG Equipamentos Ltda, Brezilya); 2) Elektromanyetik indüksiyonun alaşımın eritilmesini sağladığı ve eriyik alaşımın santrifüj ile döküm manşetine enjekte edildiği döküm yöntemi (Fornax T, Bego, Almanya); 3) Alaşımın bir elektromanyetik indüksiyon ile eritilerek vakum basınç sistemi ile döküm manşetine enjekte edildiği elektromanyetik indüksiyon/santrifüj ile döküm yöntemi (Nautilus T, Bego, Almanya).

Dökümler temizlenmeden önce üretici firma tarafından tavsiye edildiği şekilde oda sıcaklığına soğumaya bırakılmış ve takiben 50 µm alüminyum oksit (Danville Engineering Inc, ABD) ile kumlama yolu ile revetmandan temizlenmiştir. Temizlenen silindir şekilli döküm örnekleri orta kısımlarından

uzunlamasına düşük rotasyonda ve sabit su ile soğutma altında bir elmas disk ve metalografik kesici (Labcut 1010; Extex Co. ABD) ile kesilmişlerdir. Bu işlemin amacı, analizlerin alaşımın revetman ile temasta bulunan ve bu sebeple fiziksel özellikleri değişim gösterebilecek yüzeyleri yerine döküm sırasında kontaminasyona uğramamış yüzeylerde yapılmasıdır.

Takiben örnekler, kesit yüzeyleri açıkta kalacak şekilde epoksi rezin (EMBed-812; Electron Microscopy Sciences, ABD) içerisine gömüldü ve 24 saat boyunca 60°C'de bir fırında polimerize edildi. Örnekler, kalın granülasyonla başlayıp aşağıdaki sırayla incelen farklı disk granülasyonlarına sahip zımparalar ile yarı otomatik zımpara ünitesinde (DPU-10; Struers, Danimarka) yüzey hazırlama işlemine tabi tutuldu: 220, 320, 400, 600, 1200 ve 2000 (ANST). Takiben 1µm ve 0.3µm'luk alüminyum oksit solüsyonları (Alumina Arotec Ind., Brezilya) ile keçe disk yardımıyla parlatıldı. Parlatma işleminden sonra, her örnek 15 dakika boyunca %70 alkol solüsyonu ile bir ultrasonik olarak temizlendi.



Şekil 1. Döküm yöntemlerinin mikrosertlik değerleri

TEM ile mikroyapı analizi

Mikroyapının gözlemlenebilmesi amacıyla, örneklerin yüzeyleri % 80 hidroklorik asit ve % 20 hidrojen peroksit karışımı ile 30 saniye süreyle daldırma yolu ile dağlanmış. Taramalı elektron mikroskopu (Inspect F50, FEI, ABD) analizi (TEM) öncesinde, karbon saçım yöntemi ile örnekler metalize edildi (Baltec SCD 005, Baltec AG, Lihtenştayn). Takiben, örneklerin metalografik mikroyapıları, taramalı elektron mikroskopu (Inspect F50, FEI, Oregon, ABD) ile değerlendirildi. Örnek yüzeyleri elde edilen %500 büyütme TEM fotoğrafları ile gözlemsel olarak analiz edildi.

Mikrosertlik analizi

Vickers mikrosertlik değerleri tam otomatik bir mikrosertlik ölçüm cihazı (HMV-2; Shimadzu Corp., Japonya) ile 300 gr yük ve 15 saniye yükleme süresi kullanarak ölçülmüştür (Resim 1). Her örnek için kesit yüzeyler üzerinde rastgele olacak şekilde 6 adet sertlik ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 6 mikrosertlik değerinin ortalaması o örneğin Vickers mikrosertlik değeri olarak atanmıştır.

İstatistiksel analiz

Elde edilen mikrosertlik testi verilerinin istatistiksel analizi, SPSS v. 20.0 paket programı (IBM Corp., ABD) ile tek-yönlü ANOVA ve Tukey istatistiksel testleri kullanılarak karşılaştırıldı. parametrik veriler. İstatistiksel olarak anlamlı fark seviyesi $P < 0,05$ olarak belirlenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler sürekli bağımlı değişken için ortalama ve standart sapma biçiminde sunulmuştur.

BULGULAR

Bu çalışmada değerlendirilen döküm yöntemlerinden asetilen-oksijen alev dökümü (381.17 ± 17.819), indüksiyon/santrifüj (311.33 ± 24.22) ve indüksiyon/vakum (298.65 ± 26.56) dökümlerine göre istatistiksel olarak önemli derecede ($p < 0,001$) yüksek Vickers mikrosertlik numarası değerleri göstermişlerdir. İndüksiyon esaslı döküm yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Şekil 1 ve Tablo 2 döküm yöntemlerinin mikrosertlik değerlerini göstermektedirler. Tüm döküm tekniklerine ait örneklerde, dökme Co-Cr esaslı alaşımların katılma sonucu oluşan karakteristik dendritik matris mikroyapısı gözlenmiştir. Gözlemsel olarak değerlendirmesi yapılan %500 büyütme TEM fotoğrafları ve her bir döküm yöntemi için tespit edilen dendritik mikroyapıları gösterir TEM analizi örnekleri Resim 2A, 2B ve 2C'de sunulmuştur. Tüm örneklerde eriyik metalin katılması süresince ortaya çıkan tipik dendritik yapılar saptanmıştır. Elde edilen TEM resimlerinden tane boyutlarının belirlenmesi mümkün olmamıştır. Ayrıca, gözlemlenen birincil ve

ikincil dendrit kol aralığı değişkenleri arasında farklılık tespit edilmemiştir. Gözlemlenen diğer bir unsur ise indüksiyon/vakum grubu test örneklerinin kimyasal dağılamaya daha dirençli olduklarıdır.

TARTIŞMA

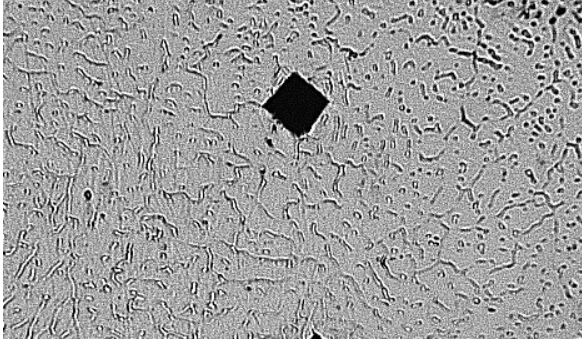
Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bir numaralı araştırma hipotezi reddedilmiştir. Döküm yöntemi, alaşımın mikrosertlik değerleri üzerine etki göstermektedir. Araştırmanın iki numaralı hipotezi kabul edilmiştir. İncelenen TEM fotoğrafları alaşımın miktopyasının döküm yöntemine göre farklılık göstermediğini ortaya koymuştur. Bazı alaşımların mikrosertlik değerlerinin döküm tekniğine bağlı olarak değerlendirildiği çalışmalarda^{5,6,8,10}, asetilen-oksijen alev döküm yönteminde, alaşımın elektromanyetik indüksiyon ile eritilerek, santrifüj ile döküm kalıbı içerisine nüfuz ettirildiği yöntemle kıyasla daha yüksek mikrosertlik değerleri bulunmuştur. Öte yandan, Tajima ve arkadaşları⁹ tarafından yapılan bir çalışmada, argon ortamında indüksiyon tekniği ile asetilen-oksijen alevi ile döküm ve indüksiyon/santrifüj dökümüne göre daha yüksek değerlerin elde edildiği belirtilmiştir. Söz konusu bu çalışma Ni-Cr esaslı baz alaşımlarda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda elde edilen bulgular Bauer ve arkadaşları⁸ tarafından gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları ile paralellik göstermektedir. Söz konusu bu çalışmada araştırmacılar bir Co-Cr-Mo üçlü alaşımını incelemiş ve asetilen-oksijen alevi ile gerçekleştirilen dökümlerde indüksiyon / santrifüj, indüksiyon / vakum ve indüksiyon/argon dökümlerine göre daha yüksek sertlik değerleri tespit etmişlerdir. Co-Cr esaslı bir alaşımın kullanıldığı ve alev dökümü ile indüksiyon/santrifüj dökümünü karşılaştırdığı diğer bir çalışmada ise, Thompson ve arkadaşları⁶ döküm yöntemlerinin alaşımların döküm sonrası sertlik değeri üzerine etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kontrol dışı atmosfer ortamında dökümün (asetilen-oksijen alev dökümü) kontrollü ortamlarda yapılan dökümlere (indüksiyon) kıyasla yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur¹¹.

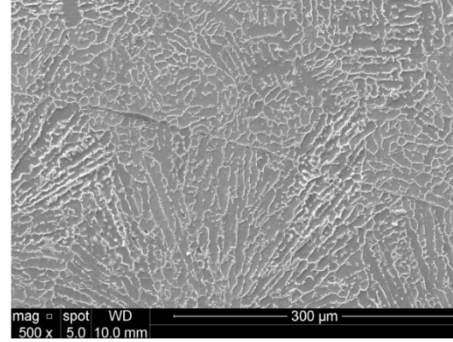
Tablo 2. Elde edilen ortalama sertlik değerleri ve standart sapmaları.

	Alev	İndüksiyon/ santrifüj	İndüksiyon/ vakum	P*
Vickers Mikrosertlik Numarası	381.17 (± 17.819)	311.33 (± 24.22)	298.65 (± 26.56)	<0,001
	A	B	B	

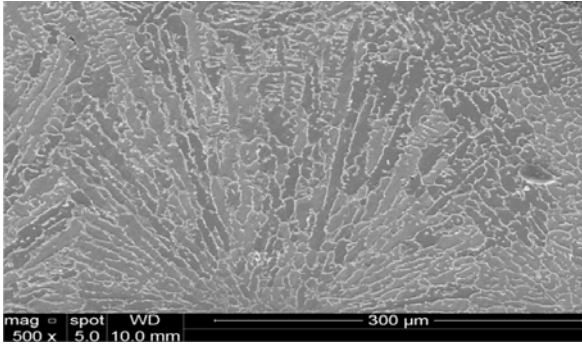
*farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı fark ifade etmektedir.



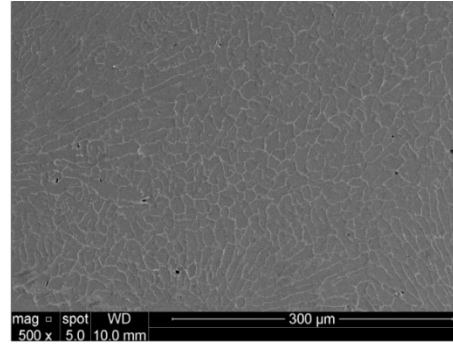
Resim 1. Vickers mikrosertlik test görüntüsü



Resim 2A. Alev döküm yöntemine ait örnek mikroyapısını gösteren TEM fotoğrafı.



Resim 2B. İndüksiyon/santrifüj yöntemine ait örnek mikroyapısını gösteren TEM fotoğrafı.



Resim 2C. İndüksiyon/vakum yöntemine ait örnek mikroyapısını gösteren TEM fotoğrafı

Çalışmamızda, döküm yöntemlerinin Co-Cr alaşımların mikroyapıları üzerine etkisinin olmadığı saptanmıştır. Bu bulgu, diğer bazı metallerin mikroyapı değişimlerinin döküm yöntemlerine göre incelendiği diğer çalışmalar ile paralellik göstermektedir^{5,6,8}. Bunun nedeni, baz alaşımların mikroyapılarının temel belirleyici faktörünün katılma hızı olmasıdır. Uygulanan test yönteminde tüm örnekler aynı şekilde oda sıcaklığı ortamında kendiliğinden soğumaya bırakılmışlardır. Ayrıca, indüksiyon/vakum döküm yöntemi ile hazırlanan örneklerin daha az kimyasal dağlamaya maruz kalmaları, kontrollü indüksiyon ve vakum ortamında alaşımlara korozyon direnci sağlamak amacıyla eklenen bazı eser metallerin, alaşımın eritilmesi sırasında aşırı ısıtılma sonucu buharlaşmaya uğramamaları ve vakum ortamı sebebi ile oksitlenmenin daha düşük seviyede meydana gelmesi ile açıklanabilir.

Metallerin mikrosertliği, metalin çalışılabilirlik ve parlatılabilirlik gibi özellikleri ile direkt olarak

ilgilidir³. Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, asetilen-oksijen alev dökümü ile elde edilen sabit protetik metal altyapıların aşındırma ve bitim işlemlerinin daha zor olduğu varsayılabilir. Buna ek olarak, mikrosertlik değerlerinin araştırılması ile alaşımların akma dayanımı üzerindeki küçük değişiklikler Vickers mikrosertlik test yöntemi ile belirlenebilir¹².

Elde edilen bulgular, tüm döküm yöntemlerinin yeterli seviyede mekanik dayanıklılığa sahip protetik altyapıların oluşturulmasına izin verdiğini göstermektedir. Metallerin akma noktası plastik deformasyonun başlangıcı olarak değerlendirilebilir³. Ayrıca, mikrosertlik test yönteminde, standart sapma değerlerinin makromekanik test yöntemlerine kıyasla genellikle daha düşük olması diğer bir avantajdır. Her ne kadar, metal altyapıların mekanik ve mikroyapı değerlendirmeleri önem taşımakta ise de, elde edilen verilerin klinik uygulamaların karar aşamasında etkili olabilmesi için söz konusu metal altyapıların seramik ile bağlantısının döküm

yöntemleri açısından değerlendirilmesi gerekir.

Bu çalışmanın sınırları dahilinde, asetilen-oksijen alevi döküm yöntemi ile elde edilen metal altyapıların, elektromanyetik indüksiyon/santrifüj ve elektromanyetik indüksiyon/vakum enjeksiyon döküm yöntemleri ile elde edilenlerden daha yüksek mikrosertliğe sahip oldukları gösterilmiştir. Ayrıca, döküm yönteminin, alaşımların mikroyapıları üzerinde belirleyici etkisi yoktur.

KAYNAKLAR

1. McLean JW, The Science and Art of Dental Ceramics, Volume I: The Nature of Dental Ceramics and Their Clinical Use. Chicago, Quintessence, 1979.
2. Anusavice KJ, Shen C, Rawls R. Phillips' Science of Dental Materials, 12th ed. St. Louis, Elsevier, 2013.
3. Shanley JJ, Ancowitz SJ, Fenster RK, Pelleu GB Jr. A comparative study of the torch/centrifugal and vacuum-pressure techniques of casting removable partial denture frameworks. *J Prosthet Dent.* 1981;45:18-23.
4. Ady AB. Effect of solidification time on the microstructure and physical properties of dental gold casting alloys. *J Dent Res.* 1966;45:921-6.
5. Bauer J, Loguercio A, Reis A, Rodrigues Filho L. Microhardness of Ni-Cr alloys under different casting conditions. *Braz Oral Res.* 2006;20:40-6.
6. Thompson GA, Qing L, Arthur H. Analysis of four dental alloys following torch/centrifugal and induction/ vacuum-pressure casting procedures. *The J Prosthet Dent.* 2013;110:471.
7. Compagni R, Faucher RR, Yuodelis RA. Effects of sprue design, casting machine, and heat source on casting porosity. *J Prosthet Dent.* 1984;52:41-5.
8. Bauer JRO, Grande RHM, Rodrigues-Filho LE, Pinto MM, Loguercio AD. Does the casting mode influence microstructure, fracture and properties of different metal ceramic alloys? *Braz Oral Res.* 2012;26:190-6.
9. Tajima K, Kakigawa H, Kozono Y, Hayashi I. Oxygen and nitrogen uptake in dental Ni-Cr alloy castings by several melting methods. *Dent Mater J.* 1984;3:262-71.
10. Chen WC, Teng FY, Hung CC. Characterization of Ni-Cr alloys using different casting techniques and molds. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2014;35:231-8.
11. Bezzon OL, Pedrazzi A, Zaniquelli O, Da Silva TBC. Effect of casting technique on surface roughness and consequent mass loss after polishing of NiCr and CoCr base metal alloys: a comparative study with titanium. *J Prosthet Dent.* 2004;92:274-7.
12. Ozkomur A, Ucar Y, Ekren O, Shinkai A, Teixeira ER. Characterization of the interface between cast-to Co-Cr implant cylinders and cast Co-Cr alloys. *J Prosthet Dent.* 2016;115:592-600.