

TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ BİYOMALZEME OLARAK KULLANILMASI

THE USE OF TITANIUM AND ALLOYS AS A BIOMATERIAL

Serhat ŞAP

Öğr. Gör., Bingöl Üniversitesi, ssap@bingol.edu.tr

Emine ŞAP

Dr. Öğr. Ü., Bingöl Üniversitesi, esap@bingol.edu.tr

İhsan KIRIK

Doç. Dr., Bingöl Üniversitesi, ikirik@bingol.edu.tr

ÖZET

Biyomalzeme, mühendislik alanı için son zamanlarda yaygın olarak kullanılan bir kavramdır. Bu alanda yapılmış modern denilebilecek araştırmalar 20. yüzyılda başlamıştır. Biyomalzemeler hareket eden bir eklem veya biyomedikal bir yapının herhangi bir parçasını oluşturabilir. Bahsedilen biyomedikal yapı, doğal bir fonksiyonu ya geliştirir ya da değiştirir. Biyomalzemeler ya da yapılar herhangi bir işlevi yerine getirebilir, geliştirebilir veya farklılaştırabilir ki bu bahsi geçen işlev herhangi bir hastalık veya sakatlıkla kaybedilmiş bir uzuv olabilir. Tabi ki asla bu işlev orijinal olarak yerine getirilemeyecektir. Trafik kazaları, ateşli silah ve spor yaralanmaları, yaşlılık ve hastalık gibi farklı sebeplerle görevlerini ifa edemez hale gelen organlardan; omur, femur başı, diz eklemi gibi organlar ortopedi uzmanları tarafından tamamı veya bir kısmı değiştirilerek yerine insan vücudunda ömür boyu kalacak aparatlar yerleştirilmektedir. Ortopedik cerrahi alanında kemik onarımı için her ne kadar yeni teknikler geliştirilse de bazı eksikliklerin olduğu görülmektedir. Bazı alaşımlar korozyon, aşınma, uyumsuzluk ve düşük mukavemet gibi farklı sebeplerden dolayı uzun vadede başarılı olamamaktadır. Sonuç olarak ikinci bir ameliyat gerekli hale gelebilmektedir. Bu ameliyatlar pahalı olmakla birlikte acı verir ve kimi zaman başarılı geçmeyebilir. Mevcut biyomalzemelerin sorunlarını ortadan kaldırmak için yeni metalik alaşımlar geliştirilmektedir. Sert, korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı biyoyumlu malzemelerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Titanyum, dünyada en çok bulunan dokuzuncu elementtir. Titanyum elementi, biyoyumlu olması sebebiyle diğer metal implant malzemelerine karşı üstünlük sağlar. Titanyum, alaşım kompozisyonu değiştirilerek mekanik özelliklerini geliştirebilmesi nedeniyle çeşitli biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılabilir. Titanyum elementi insan vücudunda minimal yan etkilere neden olduğu ve kimyasal reaksiyona girmediği için de güvenli olarak kabul görmektedir.

Bu çalışmadaki amaç biyomalzeme olarak kullanılan Titanyum ve Titanyum alaşımlarından istenilen mekanik özelliklere değinmek ve son yıllarda kullanılan biyomalzemelerin mekanik özellikleri ve biyoyumluluk konusunda bir veri tabanı oluşturarak, referans kaynak sağlayabilmektir.

Anahtar kelimeler : Titanyum, Biyomalzeme, Biyoyumluluk, Mekanik Özellikler

Abstarct

Biomaterials is a widely used concept for engineering field recently. Modern researches in this area started in the 20th century. Biomaterials can form any part of a moving joint or biomedical structure.

Said biomedical structure either improves or changes a natural function. Biomaterials or structures may perform, develop or differentiate any function, said function being a limb lost by any disease or disability. Of course, this function will never be performed as original. From the organs that become unable to perform their duties due to different reasons such as traffic accidents, firearms and sports injuries, old age and illness; organs such as vertebrae, femoral head, knee joint are replaced by orthopedics specialists in order to replace the whole or some parts of the human body. Although new techniques have been developed for bone repair in the field of orthopedic surgery, there are some deficiencies. Some alloys are not successful in the long term due to different reasons such as corrosion, wear, incompatibility and low strength. As a result, a second surgery may become necessary. These surgeries are expensive but painful and sometimes not successful. New metallic alloys are being developed to eliminate the problems of existing biomaterials. The development of hard, corrosion and wear resistant biocompatible materials is of great importance.

Titanium is the ninth most common element in the world. Titanium is superior to other metal implant materials due to its biocompatibility. Titanium can be widely used in various biomedical applications as it can improve its mechanical properties by changing the alloy composition. It is a potential biomedical implant material because it is better than most alloys due to its mechanical and electrochemical properties. The element titanium is also considered safe because it causes minimal side effects in the human body and does not react chemically.

The aim of this study is to reveal the desired mechanical properties of titanium and titanium alloys used as biomaterials and to provide a reference source by creating a database on the mechanical properties and biocompatibility of biomaterials used in recent years.

Keywords : Titanium, Biomaterials, Biocompatibility, Mechanical Properties

1.GİRİŞ

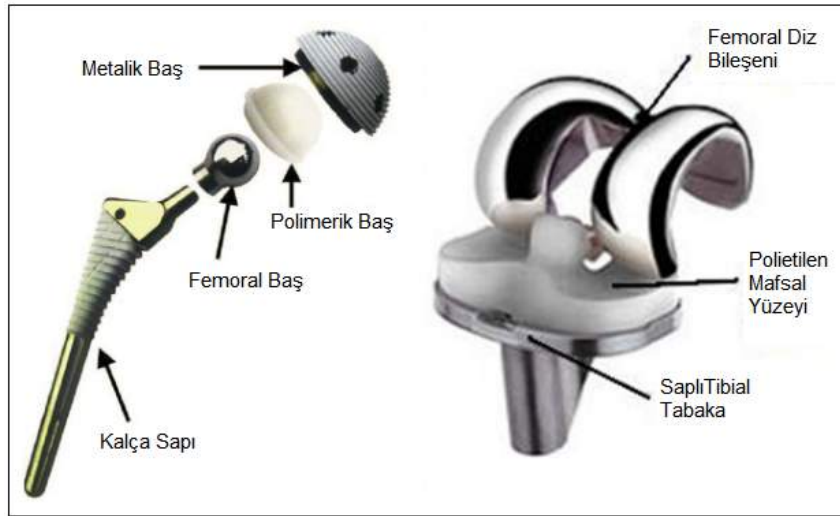
Biyomalzeme alanı, yaşlanan nüfusun yüksek talebinin yanı sıra insanların ortalama ağırlığının artması nedeniyle de sürekli bir artış göstermektedir [1]. Biyomalzemeler, biyolojik yapının, insan hayatının kalitesini ve ömrünü arttırmak amacıyla kullanılan yapay veya doğal malzemelerdir. Biyomalzemeler insan vücudunun farklı yerlerinde; kalpte yapay kapak, kan damarlarında stent, omuzlarda protez implant, diz, kalça, dirsek, kulak ve diş yapıları olarak kullanılmaktadır [2]. Ayrıca kalp simülatörleri olarak ve idrar ve sindirim sistemi rekonstrüksiyonlarında kullanılır. Bunların arasında en fazla sayıda İmplant; spinal, kalça ve diz protezidir. 2030'un sonunda toplam kalça protezi sayısının % 200 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bunun nedeni, insan eklemlerinin; kemik eklemlerinde iltihaplanma, kemiklerin zayıflaması ve işlev kaybına neden olan travma gibi dejeneratif hastalıklardan kaynaklanmaktadır [3][4].

Genel olarak, metalik biyomalzemeler yük taşıma uygulamaları için kullanılır ve günlük aktivitenin zorluklarına dayanmak için yeterli yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Seramik biyomalzemeler genellikle, eklemlerde ve dişlerde eklem yüzeyleri ve implantlardaki kemik yapıştırma yüzeyleri gibi uygulamalar için kullanılır. Polimerik malzemeler genellikle esneklikleri ve stabiliteyi için

kullanılırlar, fakat aynı zamanda düşük sürtünmeli eklemli yüzeyler için de kullanılırlar [5]. Titanyum ise en umut verici mühendislik malzemelerinden biri haline gelmektedir. Titanyum alaşımlarının mükemmel mekanik ve tribolojik özellikleri nedeniyle biyomedikal alanda kullanımı hızla artmaktadır. Günümüzde biyomedikal uygulamalar için kullanılan malzemeler; 316L paslanmaz çelik, kobalt krom alaşımları (CoCrMo), titanyum bazlı alaşımlar (Ti-6Al-4V) ve çeşitli metalik malzemelerdir [4]. Titanyum alaşımları; yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, korozyona yüksek bağışıklık, gelişmiş uyumluluk ve düşük Young modülü gibi üstün özelliklerinin bir araya gelmesi nedeniyle uygulamaların çoğu için ilk seçenek olarak hızla ortaya çıkmaktadır. Mükemmel özelliklerinden dolayı titanyum ve titanyum alaşımları yapay kemiklerde, eklemlerde ve diş implantlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır [6][7].

2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

Titanyum ilk olarak 1790'da William Gregor tarafından İngiltere'de keşfedilmiştir, fakat 1795'te Klaproth ona titanyum adını vermiştir. Titanyum ve alaşımları; düşük yoğunluğu, iyi biyoyumluluğu ve geliştirilmiş mekanik özellikleri ile tıp, havacılık, otomotiv, enerji ve gemi endüstrisi gibi endüstrilerde sıklıkla kullanılmaktadır [8]. Hafif, güçlü ve tamamen biyo-uyumlu olan titanyum, insan vücudundaki implantasyon gereksinimlerini doğal olarak karşılayan az sayıdaki maddeden biridir. Tüm titanyum ve alaşımları arasında, biyomedikal alanda kullanılan başlıca malzemeler ticari olarak saf titanyum ve Ti-6Al-4V alaşımıdır [9]. Şekil 1.'de yapay kalça eklemi ve diz implantının şematik diyagramı görülmektedir.

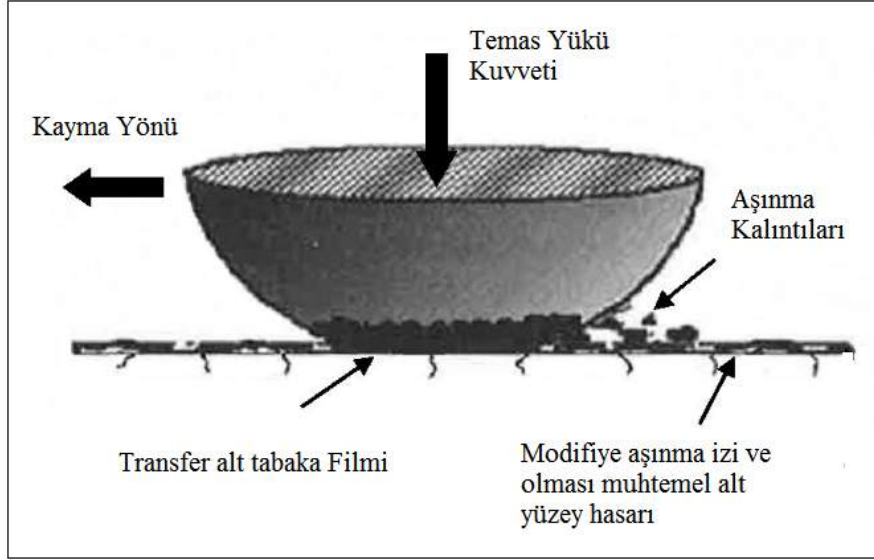


Şekil 1. Yapay kalça eklemi ve diz implantının şematik diyagramı

2.1. Titanyum ve Alaşımlarında Aşınma

Biyomalzemenin aşınma direnci, implantın mekanik işleyişinde hayati bir role sahiptir. Çeşitli işleme tekniklerine ve kompozisyon değişikliklerine ek olarak, biyomalzemelerin yüzey modifikasyonu da aşınma direncini arttırabilmektedir [10]. İyon implantasyonu veya fiziksel birikimi, bir biyomalzemenin aşınma direncini arttıran birkaç teknikten biridir. Burada, iyonize parçacıkların ışını malzemenin yüzeyine gömülerek, yüzeyin fiziksel veya kimyasal özellikleri geliştirilebilir. Biyomalzemelerin aşınma direncini arttırmak için nitrürleme, karbürleştirme ve sertleştirme yöntemleri kullanılarak yüzey sertliğini arttırılabilmektedir [11]. Titanyum kendi arasında veya diğer malzemeler arasında

sürtünmeye maruz kaldığı zaman ciddi aşınma eğilimi göstermektedir [12]. Bu etki nedeniyle titanyum başlık ve polimer malzemelerden yapılan eklem aparatlarının % 10-20'sinin 15-20 yıl içerisinde değiştirilmesi gerekmektedir. İmplantlar yüksek sürtünme katsayıları nedeniyle çevresindeki dokunun iltihaplanmasına ve dolayısıyla implantın gevşemesine sebep olabilmektedir. Bu durumda implantın yenisiyle değiştirilmesi gerekmektedir [13]. Şekil 2.'de kayar bir tribolojik kaplamanın şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2. Kayar bir tribolojik kaplamanın şematik gösterimi

2.2. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Korozyon Davranışı

Tüm metaller ve alaşımlar vücut sıvısı ile temas ettiğinde klorür iyonları ve proteinlerin varlığı nedeniyle korozyona maruz kalmaktadır. Cerrahi olarak yerleştirilmiş bir alaşımın yüzeyinde çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelebilir [14]. Korozyona karşı dayanıklı metallerin ve alaşımların çoğu pasif haldedir. Tipik olarak bu metaller üzerinde oluşan pasif filmlerin kalınlığı yaklaşık 3-10 nm'dir. Bir oksit filminin varlığından dolayı pasif bir metalin belirli bir potansiyeldeki çözünme hızı aktif bir metalinkinden çok daha düşüktür. Metal yüzeyinde kendiliğinden oluşan bu filmler metalik iyonların veya elektronların film boyunca daha fazla taşınmasını önler [15]. Zayıf tribolojik özellikler ve olası korozyon problemlerine karşı yüzey dayanımını etkin bir şekilde arttırmak gerekmektedir. Dolayısıyla sertliği ve aşınma direncini arttırmak ve böylece sürtünme katsayısını azaltmak için yüzey işlemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır [16]. Tablo 1.'de Titanyum alaşımlarının kullanıldığı yerler görülmektedir.

Tablo 1. Titanyum alaşımlarının kullanıldığı yerler

Kullanıldığı yer	Titanyum alaşımı
Gaz türbin motoru malzemesi	Ti-5,8Al-4Sn-3,5Zr-0,7Nb- 0,5Mo-0,35Si-0,06C Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si
Uçak gövdesi	Ti-10V-2Fe-3Al Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al Ti-15Mo-2,8Al-3Nb-0,2Si
Balistik zırh	Ti-6Al-1,8Fe-0,2Si
Jeotermal ve açık denizde kullanılan borular	Ti-6,8Mo-4,5Fe-1,5Al
İyi spor malzemeleri (hafif ve yüksek dayanımlı)	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al
Diş ve medikal uygulamalar	Vanadyumsuz ve Ti-6Al-4V, eşdeğer alaşımlar
Medikal ortopedik aletler	NiTi-Cu

2.3. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Osseointegrasyonu

Canlı kemik ve biyomalzeme arasındaki doğrudan temasa Osseointegrasyon denilmektedir. Ayrıca doku biliminde osseointegrasyon, kemik-biyomalzeme arayüzünde lif dokusu olmaksızın biyomalzeme çevresinde sabit kemik dokusu oluşumu olarak tanımlanmaktadır. Biyomalzeme olarak kullanılan İmplant, kemik içine cerrahi olarak yerleştirildiğinde osseointegrasyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirleyen çok sayıda biyolojik, fiziksel, kimyasal, termal ve diğer faktörler vardır. Titanyum ve alaşımları, yüksek mukavemet ve kırılma tokluğu ile birlikte iyi biyoyumlulukları nedeniyle dental ve ortopedik implantlar için yaygın olarak kullanılmaktadır [17][18]. Kemiğe doğrudan bağlanmalarına rağmen kemik dokusu ile kimyasal bir bağ oluşturmazlar. Son yıllarda hidroksiapatit plazma sprej kaplamaları, çimentosuz kalça protezi ameliyatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat hidroksiapatit kaplama çok iyi bir biyoyumluluk sergilemesine rağmen kaplama tabakasının alt tabakadan ayrılması ve kaplama tabakasının bileşiminin kontrol edilememesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. İmplant bağlantısı için güçlü ve dayanıklı bir kemik-kemik implantı arayüzünde; elektrokimyasal biriktirme, daldırma ve fiziksel buhar biriktirme teknikleri gibi uygun implant yüzey işlemleri uygulanabilmektedir [19].

2.4. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Yüzey İşlemleri

Yüzey mühendisliği, titanyumdan yapılan ortopedik cihazların performansını ve doğal kabiliyetini arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. Yüzey işlemlerinin temel amacı esas olarak tribolojik davranışların iyileştirilmesi ve korozyon direncinin artırılmasıdır. Yüzey oksidasyonu, iyon implantasyonu gibi fiziksel biriktirme yöntemleri ve plazma sprej kaplamaları ve ayrıca termo-kimyasal yüzey muameleleri gibi farklı yüzey modifikasyon teknikleriyle uygulanabilmektedir.

İstenen biyolojik tepkileri elde etmek için titanyum üzerindeki yüzey oksitlerinin kalınlaştırılması ve dengelenmesi gerekmektedir. Titanyumun biyolojik tepkisi, yüzey kimyasal bileşimine ve titanyum oksitlerin molekülleri absorbe etme yeteneğine bağlıdır [20][21]. Tablo 2.'de doğal kemik ile farklı implant malzemelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı tablo görülmektedir.

Tablo 2. Doğal kemik ile farklı implant malzemelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Malzeme	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Elastik Modül (Gpa)
Kemik (kortikal)	70-150	30-70	15-30
Paslanmaz çelik	490-1350	190-690	200-210
Co bazlı alaşımlar	655-1793	310-1586	210-253
Titanyum bazlı alaşımlar	690-1100	585-1060	55-110
Seramikler	40-100	-	70-120
Bioglass	42	-	35

Titanyumun biyolojik tepkisi; yüzey kimyasal bileşimine ve titanyum oksitlerin molekülleri absorbe etme ve elementleri ekleme yeteneğine bağlıdır. Yüzey topografyası, hücre davranışının düzenlenmesinde, örneğin hücrelerin şekli, yönü ve adezyonu gibi önemli bir rol oynar. Bir yüzey biyolojik dokularla temas etmeye başladığında su molekülleri ilk önce yüzeye ulaşır. Bu nedenle yüzey ıslanabilirliği başlangıçta proteinlerin yüzeye adsorpsiyonunda ve ayrıca hücre yapışmasında önemli bir rol oynayabilir. Hücre yapışması genellikle hidrofilik yüzeylerde daha iyidir. TiO_2 hidrofilikliğini etkileyen fizikokimyasal özelliklerdeki değişikliklerin, protein adsorpsiyonunu ve daha fazla hücre bağlanmasını modüle edeceği bilinmektedir [22].

3. BİYUYUMLULUK

Biyouyumluluk, bir malzemenin bir tıbbi tedaviye göre istenen işlevlerini yerine getirme, belirli bir uygulamada uygun bir konukçu tepkisini indüklemeye ve herhangi bir yaralanma, toksisite veya reddetme riski olmadan canlı sistemler ile etkileşime girebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [17]. İdeal olarak, biyomedikal implantların insan vücudunda herhangi bir ağrı veya alerjik reaksiyon olmadan çok zararsız olması gerekir. İmplant cerrahisinin başarılı olup olmadığı temel olarak, insan vücudunun biyomateryalin biyouyumluluğunu değerlendiren implanta reaksiyonuna bağlıdır [23]. Malzemeden çıkan reaksiyonlar ve vücut ortamındaki bozulmaları biyouyumluluğu etkileyen iki ana faktördür. Bireysel alaşım elementinin doğrudan etkilerini anlamak çok önemlidir. Bu etkiler insan vücudunda sert aşınma ve korozyona bağlı olarak toksisite, iltihaplanma ve bağışıklık tepkisine neden olabilmektedir [24]. Malzemeler insan vücuduna implante edildiğinde bir dizi reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyonlar implante edilen malzemelerin sistemimiz tarafından kabul edilebilirliğini açıklamaktadır [25][26]. Şekil 3.'te biyomalzemelerin biyolojik etkileri görülmektedir.



Şekil 3. Biyomalzemelerin biyolojik etkileri

4.SONUÇLAR

Titanyum ve alaşımları, çeşitli uygulama sektörlerinde en çok kullanılan mühendislik malzemeleri arasında sayılmaktadır. Yüksek bir ağırlık oranı, erime sıcaklığı ve korozyon direncinin benzersiz birleşimi nedeniyle, titanyum alaşımlarının mekanik ve tribolojik bileşenlere uygulanmasına duyulan ilgi hızla artmaktadır. Mükemmel biyouyumlulukları ve iyi osseointegrasyonları ile özellikle biyomedikal alanda olmak üzere çok çeşitli endüstrilerde sıklıkla kullanılırlar. Ti alaşımlarından yapılan bileşenler genellikle farklı malzemelerle (metaller, polimerler veya seramikler) ve ortamlarla, sabit veya dinamik yükleme altında ve çeşitli sıcaklıklarda tribolojik olarak temas halindedir. Bu temas yükleri titanyum yüzeyini pasifleştiren ince doğal oksit filminin hasar görmesine neden olabilir ve metal karşı malzeme veya çevre ortamla yoğun etkileşime girebilir. Bu etkileşimler, yüksek sürtünme ve hatta nöbet (galvanik ve çatlak korozyonu) gibi çeşitli ters etkiler yaratabilir ve bu da implante sistemlerin erken bozulmasına neden olabilir. Titanyum ve alaşımları için yeni özel yüzey modifikasyon tekniklerinin geliştirilmesi, bu etkileri kontrol etmek veya önlemek ve osseointegrasyonu iyileştirmek ve dolayısıyla implantın ömrünü uzatmak giderek daha kritik bir gereklilik haline gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] J. Park and R. S. Lakes, *Biomaterials: An introduction: Third edition*. 2007.
- [2] A. Jon Goldberg and L. T. Kuhn, "Biomaterials," in *Regenerative Engineering*, 2013.
- [3] C. Ning, "Biomaterials for bone tissue engineering," in *Biomechanics and Biomaterials in Orthopedics, Second Edition*, 2016.

- [4] J. B. Park and Y. C. Fung, "Biomaterials, an Introduction," *J. Biomech. Eng.*, 2009.
- [5] C. Piconi and G. Maccauro, "Zirconia as a ceramic biomaterial," *Biomaterials*. 1999.
- [6] L. L. Hench and J. Wilson, "Surface-active biomaterials," *Science*. 1984.
- [7] G. Radenković and D. Petković, "Metallic biomaterials," in *Biomaterials in Clinical Practice: Advances in Clinical Research and Medical Devices*, 2017.
- [8] M. Geetha, A. K. Singh, R. Asokamani, and A. K. Gogia, "Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants - A review," *Progress in Materials Science*. 2009.
- [9] A. Siddiqi, A. G. T. Payne, R. K. De Silva, and W. J. Duncan, "Titanium allergy: Could it affect dental implant integration?," *Clinical Oral Implants Research*. 2011.
- [10] V. K. Truong *et al.*, "The influence of nano-scale surface roughness on bacterial adhesion to ultrafine-grained titanium," *Biomaterials*, 2010.
- [11] M. Long, R. Crooks, and H. J. Rack, "High-cycle fatigue performance of solution-treated metastable- β titanium alloys," *Acta Mater.*, 1999.
- [12] S. Fujibayashi, M. Neo, H. M. Kim, T. Kokubo, and T. Nakamura, "Osteoinduction of porous bioactive titanium metal," *Biomaterials*, 2004.
- [13] H. Uthoff, D. Bardos, and M. Liskova-Kiar, "The advantages of titanium alloy over stainless steel plates for the internal fixation of fractures. An experimental study in dogs," *J. Bone Joint Surg. Br.*, 2018.
- [14] Q. Chen and G. A. Thouas, "Metallic implant biomaterials," *Materials Science and Engineering R: Reports*. 2015.
- [15] M. Long and H. J. Rack, "Titanium alloys in total joint replacement - A materials science perspective," *Biomaterials*. 1998.
- [16] M. Niinomi, "Recent metallic materials for biomedical applications," *Metall. Mater. Trans. A*, 2002.
- [17] E. Eisenbarth, D. Velten, M. Müller, R. Thull, and J. Breme, "Biocompatibility of β -stabilizing elements of titanium alloys," *Biomaterials*, 2004.
- [18] B. Feng, J. Weng, B. C. Yang, S. X. Qu, and X. D. Zhang, "Characterization of surface oxide films on titanium and adhesion of osteoblast," *Biomaterials*, 2003.
- [19] M. Niinomi, "Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications," *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2008.
- [20] H. Aita *et al.*, "The effect of ultraviolet functionalization of titanium on integration with bone," *Biomaterials*, 2009.
- [21] N. Patel and P. Gohil, "A review on biomaterials: scope, applications & human anatomy significance," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, 2012.
- [22] K. J. L. Burg, S. Porter, and J. F. Kellam, "Biomaterial developments for bone tissue engineering," *Biomaterials*, 2000.
- [23] D. F. Williams, "On the mechanisms of biocompatibility," *Biomaterials*, 2008.
- [24] S. E. Gad, "Biocompatibility," in *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2014.
- [25] R. Duncan and L. Izzo, "Dendrimer biocompatibility and toxicity," *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2005.
- [26] G. Schmalz and D. Arenholt-Bindslev, *Biocompatibility of dental materials*. 2009.