

1993-05-01

## Titanium as an Implant Material(ไทเทเนียมกับงานทันตกรรมรากเทียม)

Urairat Akrathit

Rajapas Panichuttra

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/cudj>



Part of the [Dentistry Commons](#)

---

### Recommended Citation

Akrathit, Urairat and Panichuttra, Rajapas (1993) "Titanium as an Implant Material(ไทเทเนียมกับงานทันตกรรมรากเทียม)," *Chulalongkorn University Dental Journal*: Vol. 16: Iss. 2, Article 7.

DOI: 10.58837/CHULA.CUDJ.16.2.7

Available at: <https://digital.car.chula.ac.th/cudj/vol16/iss2/7>

This Original article is brought to you for free and open access by the Chulalongkorn Journal Online (CUJO) at Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Dental Journal by an authorized editor of Chula Digital Collections. For more information, please contact [ChulaDC@car.chula.ac.th](mailto:ChulaDC@car.chula.ac.th).

## บทความปริทัศน์

# ไทเทเนียมกับงานทันตกรรมรากเทียม

ไทเทเนียม เป็นธาตุที่รู้จักและถูกนำมาใช้ในวงการแพทย์มานานกว่า 20 ปี เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ คือ มีระดับไบโอคอมแพทิบิลิตี้ (biocompatibility) สูง มีความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกกร่อน ปัจจุบันโลหะไทเทเนียมนำมาใช้ในงานทันตกรรมรากเทียมกันอย่างแพร่หลาย การติดตามผลในระยะยาวไม่พบอันตรายใด ๆ ที่เกิดจากการฝังโลหะไทเทเนียมในร่างกาย ต่อมา มีการเสริมคุณสมบัติของไทเทเนียมโดยการผสมกับโลหะชนิดอื่น ๆ เช่น อลูมิเนียม วานาเดียม ในความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางฟิสิกส์และกลศาสตร์ที่ต้องการ เช่น น้ำหนักเบา แข็งแรง และมีความทนทานต่อความล้าและการสึกกร่อน โลหะผสมที่นิยมมากที่สุดได้แก่ Ti-6Al-4V โลหะผสมชนิดนี้แม้ว่าจะได้รับการตรวจสอบแล้วว่ามีความปลอดภัย แต่การศึกษาถึงผลที่มีต่อร่างกายในระยะยาวมีจำกัด ทันตแพทย์ควรมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานของโลหะอย่างถ่องแท้ก่อนการเลือกใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย

ได้รับเรื่องเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2536

อุไรรัตน์ อัคราติชัย ท.บ.

กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลนครพนม

รัชภาส พานิชอัตรา ท.บ., ท.บ., M.S.D., Cert.in Prosthodontics

อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทนำ

นับแต่ปี ค.ศ.1925 เป็นต้นมา ได้มีวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของวัสดุทางด้านไบโอเมทีเรียล (biomaterial) เกิดขึ้นอย่างมากมาย วัสดุซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในปัจจุบัน ได้ถูกคิดค้น และนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไทเทเนียมบริสุทธิ์ โลหะผสมไทเทเนียม โพลีคริสตัลลอสมินา ซิงเกิลคริสตัลแซฟไฟร์ ไบโอกลาส ไฮดรอกซีอะพาไทต์ โลหะเคลือบหรือฉาบผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์หรือไทเทเนียม เป็นต้น<sup>(1)</sup>

ในปี ค.ศ.1977 การศึกษาของ Branemark และคณะ<sup>(2)</sup> เกี่ยวกับการยึดติดโดยตรงระหว่างผิวรากเทียมซึ่งทำจากโลหะไทเทเนียมและเนื้อเยื่อกระดูกที่มีชีวิต โดยไม่มีเนื้อเยื่ออื่นขวางกั้นซึ่งเรียกว่า ออสซีโออินทีเกรชัน (osseointegration) ทำให้เอนโดสเซียสเดนทัลอิมพลานต์ (endosseous dental implant) เริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้น โดยมีรายงานอัตราความสำเร็จในผู้ป่วยที่ได้รับการฝังรากเทียมของ Alberktsson และ Lekholm,<sup>(3)</sup> Alberktsson และ Sennerby<sup>(4)</sup> รายงานความสำเร็จของการฝังรากเทียมด้วยระบบของ Branemark ในผู้ป่วยดังนี้ ขากรรไกรบนที่ได้รับการฝังรากเทียมจำนวน 524 ตัว และติดตามผลเป็นเวลา 5 ปี พบอัตราความสำเร็จร้อยละ 84 ในเวลา 10 ปี พบอัตราความสำเร็จร้อยละ 81 และในเวลา 15 ปี พบอัตราความสำเร็จร้อยละ 78 ตามลำดับ ในขากรรไกรล่างที่ได้รับการฝังรากเทียมจำนวน 480 ตัว พบอัตราความสำเร็จร้อยละ 91 ในเวลา 5 ปี ร้อยละ 89 ในเวลา 10 ปี และร้อยละ 86 ในเวลา 15 ปี ตามลำดับ โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

อันแนตแทชอิมพลานต์ (unattached implant) ต้องไม่เคลื่อนที่เมื่อทดสอบทางคลินิกไม่ปรากฏเงาตำรอบ ๆ รากเทียมเมื่อศึกษาจากภาพรังสี การละลายตัวของกระดูกในแนวตั้ง (vertical bone loss) น้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร หลังการฝังรากเทียมในปีแรก หลังการฝังรากเทียมต้องไม่มีอาการปวด การติดเชื้อ อาการผิดปกติของระบบประสาท อาการชา หรือเกิดอันตรายต่อแมนดิบูลาร์คานัล

มาตรฐานต่ำสุดที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินความสำเร็จของการทำรากเทียม คือ จะต้องมียอดอัตราความสำเร็จร้อยละ 85 เมื่อติดตามผลเป็นระยะเวลา 5 ปี และมีอัตราความสำเร็จร้อยละ 80 เมื่อติดตามผลเป็นระยะเวลา 10 ปี ตามลำดับ

นอกจากในระบบของ Branemark แล้วยังมีระบบอื่น ๆ ที่นำเอาโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์หรือโลหะผสมไทเทเนียมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในระบบ ITI ระบบ Core-Vent Titanium Alloy implant ระบบ IMZ ระบบ integral เป็นต้น การฝังรากเทียมเป็นวิทยาการที่ก้าวหน้าเริ่มเป็นที่ยอมรับของวงการทันตแพทย์ทั่วโลก และมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่ต้องการมากขึ้นในอนาคต

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอ คุณสมบัติและประโยชน์ของโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์และโลหะผสม Ti-6Al-4V ในทางทันตกรรมรากเทียม

ในปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้สำหรับทำรากเทียมแบ่งเป็น 3 กลุ่ม<sup>(5)</sup> ได้แก่

### 1. กลุ่มโลหะ ได้แก่

- 1.1 Stainless Steel (ASTM 316L)
- 1.2 Chromium - Cobalt - Molybdenum alloy (Vitalium)<sup>(R)</sup>
- 1.3 Titanium - Vanadium - Aluminium alloy (Tivalloy)<sup>(R)</sup>
- 1.4 Titanium (Pure Surgical grade)

### 2. กลุ่มโพลีเมอร์ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีเพียงโพลีเมทิลเมทาคริลิต

### 3. กลุ่มเซรามิก

- 3.1 อลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
  - 3.1.1 Polycrystalline (Turbingen)<sup>(R)</sup>
  - 3.1.2 Single Crystal (Kyocera)<sup>(R)</sup>
- 3.2 คาร์บอน
  - 3.2.1 Pyrolytic
  - 3.2.2 Vitreous

วัสดุแต่ละชนิดที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน จะมีผลต่อการตอบสนองของเนื้อเยื่อแตกต่างกันด้วย ความสำเร็จของการทำรากเทียมในระยะยาวต้องการไบโอคอมแพทิบิลิตี ความแข็งแรง ความทนต่อการแตกหักและการสึกกร่อน ในปัจจุบันไทเทเนียมเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมอย่างสูงทั้งในวงการแพทย์และทันตแพทย์ โดยนำมาใช้เพื่อการรักษากระดูกหักในทางศัลยกรรมกระดูก (orthopedics) มานานกว่า 20 ปี และไม่ปรากฏรายงานว่า ผู้ป่วยมีอาการอินคอมแพทิบิลิตี (incompatibility) กับไทเทเนียม<sup>(6)</sup> ข้อด้อยของการใช้ไทเทเนียม คือ ราคาแพงเป็น 2 เท่าของ

ราคาของเหล็กกล้า (steel) และอลูมิเนียม (aluminium)

ไทเทเนียมบริสุทธิ์ เป็นโลหะที่ค่อนข้างอ่อน ไม่ดูดติดกับแม่เหล็ก และเป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่เผาไหม้ในอากาศที่มีไนโตรเจน ไทเทเนียมบริสุทธิ์ผลิตได้จากการถลุงแร่ไทเทเนียมดิบ (rutile, ilmenite) โดยเผาพร้อมกับคาร์บอนและคลอรีนได้เป็นไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ ( $\text{TiCl}_4$ ) แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมหลอมเหลวได้เป็นไทเทเนียมสปันจ์ (titanium sponge) ซึ่งจะหลอมเหลวรวมกันเป็นแท่งโลหะสูญญากาศ หรือในก๊าซอาร์กอน ที่อุณหภูมิ  $882^\circ\text{C}$  ไทเทเนียมบริสุทธิ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปผลึก (crystallographic) ซึ่งทำให้คุณสมบัติแตกต่างจากเดิม ไทเทเนียมจะละลายกับแร่ธาตุหลายชนิด เช่น เงิน อลูมิเนียม อาร์เซนิก ทองแดง เหล็ก แกลเลียม ยูเรเนียม วานาเดียม สังกะสี กลายเป็นโลหะผสมไทเทเนียม การรวมตัวกับสารจำพวกคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ เหล็ก ทำให้คุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของไทเทเนียมดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ของไทเทเนียมมักมีส่วน

ประกอบของสารเหล่านี้ไม่มากนัก และเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อของ ไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้า (commercially pure titanium)

**โลหะผสมไทเทเนียม** ที่ใช้มากที่สุดในงานทันตกรรมรากเทียม คือ  $\alpha$ - $\beta$  variety ซึ่งประกอบด้วยไทเทเนียมร้อยละ 90 อลูมิเนียมร้อยละ 6 วานาเดียมร้อยละ 4 (Ti-6Al-4V)<sup>(7,8)</sup> หลังจากผ่านกรรมวิธีเผา (heat treatment) โลหะผสมเหล่านี้จะให้คุณสมบัติเชิงกลที่ต้องการสำหรับวัสดุรากเทียม คือ เบา แข็งแรง และมีความทนทานต่อความล้าและการสึกกร่อน แม้ว่าจะมีความแข็งแรงมากกว่ากระดูกแต่ก็มีโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกับกระดูกมากกว่าวัสดุรากเทียมชนิดอื่น ๆ ยกเว้นไทเทเนียมบริสุทธิ์ คุณสมบัติข้อนี้ทำให้มีการกระจายแรงจากรากเทียมสู่กระดูกที่ล้อมรอบ (cortical bone-implant interface) ได้ดี เนื่องจากกระดูกและรากเทียมมีการงอตัว (flex) คล้ายกัน<sup>(7)</sup>

ตาราง เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของไทเทเนียมบริสุทธิ์ และโลหะผสมไทเทเนียม (Ti-6Al-4V)

วัสดุ	กำลังคลาด (yield strength) ( $10^7 \text{ N/m}^2$ )*	กำลังดึง (tensile strength) ( $10^7 \text{ N/m}^2$ )*	การยืดตัว (elongation) (% ใน 50 mm.)
ไทเทเนียมบริสุทธิ์	59	66	36
Ti-6Al-4V	105	120	23

$$(*P_{si} = \text{N/m}^2 \times 2.450 \times 10^{-4})$$

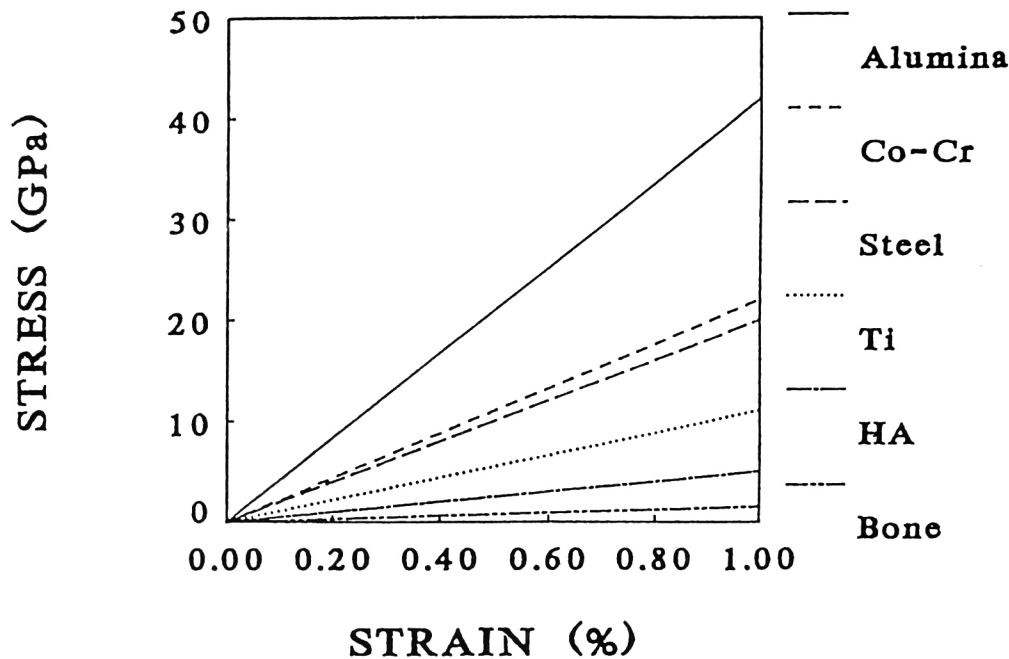
(จาก Parr, G.R., Gardner, L.K., and Toth, R.W. : Titanium : The mystery metal of implant dentistry. Dental material aspects. J Prosthet Dent. 54 : 410 - 414, 1985)

จากตารางจะเห็นได้ว่า Ti-6Al-4V มีข้อดีกว่าไทเทเนียมบริสุทธิ์ในแง่ของความสามารถในการรับแรงได้มากกว่า เนื่องจากความแข็งแรงของโลหะ อย่างไรก็ตาม มีรายงาน

น้อยมากเกี่ยวกับการแตกหักของรากเทียมที่ทำจากไทเทเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไทเทเนียมบริสุทธิ์นั้นมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน<sup>(9)</sup>



กราฟแสดง Stress-Strain Curve ของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานรากเทียมเปรียบเทียบกับกระดูก



(จาก Phillips, R.W. : Skinner's Science of Dental Material, 9<sup>th</sup> edition WB Saunders Co., Philadelphia, 1991, pp.556)

จากกราฟ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างแรง/การยืดหดตัว (โมดูลัสยืดหยุ่น) ของไทเทเนียมมีค่าใกล้เคียงกับกระดูกมากกว่าอลูมินา โคบอลต์-โครเมียม และเหล็กกล้า ยกเว้นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับกระดูกมากกว่าไทเทเนียม

## คุณสมบัติของไทเทเนียม

### การเกิดออกไซด์

โลหะส่วนมากจะเกิดออกไซด์ที่ผิวเมื่อสัมผัสกับบรรยากาศ ธรรมชาติของออกไซด์ขึ้นกับชนิดของโลหะ และสถานะของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ ตามทฤษฎีไทเทเนียมบริสุทธิ์สามารถทำให้เกิดออกไซด์ได้หลายชนิด เช่น  $\text{TiO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , และ  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  ในบรรดาออกไซด์ของไทเทเนียม  $\text{TiO}_2$  เป็นสารประกอบที่เสถียรที่สุด และถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด<sup>(6,10)</sup> ออกไซด์เหล่านี้เกิดขึ้นเองเมื่อสัมผัสกับอากาศ โดยภายในเวลาเป็นมิลลิวินาทีจะเกิดชั้นออกไซด์

ขนาด  $10 \text{ \AA}^\circ$  ขึ้นที่พื้นผิวของไทเทเนียม และภายในเวลา 1 นาที ชั้นของออกไซด์จะเพิ่มความหนาเป็น  $50\text{-}100 \text{ \AA}^\circ$  ชั้นออกไซด์ไม่แตกสลาย (breakdown) ภายใต้สภาวะเมื่ออยู่ในร่างกาย<sup>(7)</sup> โลหะผสมไทเทเนียมที่มีไทเทเนียมร้อยละ 85-95 ยังคงคุณสมบัติแพสซีวิตี้ (passivity) ของไทเทเนียมบริสุทธิ์

คำว่า “แพสซีวิตี้” ในที่นี้หมายถึง การที่โลหะถูกออกซิไดซ์ และออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่แตกสลาย ภายใต้สภาวะเมื่ออยู่ในร่างกาย ไทเทเนียมบริสุทธิ์ และโลหะผสม  $\text{Ti-6Al-4V}$  จะมีออกไซด์ปกคลุมผิวแบบเดียวกัน โดยเกิดเป็น  $\text{TiO}_2$  ปกคลุมพื้นผิวโลหะ ทำให้โลหะมีความทนทานต่อการสึกกร่อน และชั้นของออกไซด์จะเกิดขึ้นเพื่อซ่อมแซมตัวเองทันทีที่ถูกทำลาย เช่น ในขณะฝังรากเทียม<sup>(7,11)</sup>

Speck และ Fraker<sup>(12)</sup> ศึกษาความทนทานต่อการสึกกร่อนของโลหะใน Hank's physiological solution ที่  $37^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 7.4$  พบว่า ไทเทเนียมบริสุทธิ์ มีระดับ

แฟสซีวีทีสูงที่สุด รองลงมาคือ Ti-6Al-4V, Ti-Ni (memory Alloy), MP 35 N (Co-Ni-Cr-Mo), Co-Cr-Mo, 316 L Stainless Steel และ Ni ตามลำดับ

เมื่อนำรากเทียมมาใช้ในร่างกายจะมีปฏิกิริยาซับซ้อนเกิดขึ้นแทนที่ผิวของออกไซด์ที่สัมผัสกับชีวแวดล้อม (oxide/bioenvironment interface) แตกต่างจากออกไซด์ที่เกิดในอากาศ นั่นคือจะมีการแลกเปลี่ยนอิออนระหว่างผิวของออกไซด์กับเนื้อเยื่อรอบ ๆ และจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนของเนื้อเยื่อ เนื่องจากการสะสมของไทเทเนียมในปริมาณ 100-300 ppm. รอบรากเทียม แต่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย<sup>(7)</sup>

ตามปกติมนุษย์ได้รับสารไทเทเนียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหาร ประมาณ 800 ไมโครกรัมต่อวัน ในจำนวนนี้ประมาณร้อยละ 40 ของไทเทเนียมที่ร่างกายได้รับประมาณ 300 ไมโครกรัมต่อวัน จะถูกเมทาโบไลซ์แล้วขับออกทางปัสสาวะ โดยปริมาณที่ขับออกนี้มีค่ามากกว่าปริมาณออกไซด์ของไทเทเนียมที่แพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อถึง 10,000 เท่า ดังนั้นจึงไม่เกิดการสะสมของไทเทเนียมในร่างกายในปริมาณที่มากจนก่อให้เกิดอาการแพ้หรือเป็นพิษ นอกจากนี้ค่าครึ่งชีวิต (half life) เมื่ออยู่ในร่างกายของไทเทเนียมคือ ประมาณ 320 วัน ก็สั้นเกินกว่าที่จะเกิดการสะสมจนเป็นพิษต่อร่างกาย<sup>(6)</sup>

### การสึกกร่อน (Corrosion)

โลหะที่มีคุณสมบัติแฟสซีวีทีที่เกิดการสึกกร่อนเมื่ออยู่ในตัวกลางที่มีเสถียรภาพเป็นกรดหรือเป็นด่างหรือมีสารที่ทำหน้าที่เป็นออกซิไดซิง (oxidizing) หรือ รีดิวซิง (reducing) เช่น คลอเรต หรือ กรดไฮโดรคลอริก เป็นองค์ประกอบ อัตราการสึกกร่อนของโลหะลดลงได้โดยอาศัยเกราะป้องกันของชั้นออกไซด์ที่ปกคลุมพื้นผิว

Steinemann<sup>(6)</sup> อ้างถึงการทดลองของ Pourbaix ซึ่งเป็นผู้เสนอทฤษฎีใหม่เพื่อใช้อธิบายกระบวนการสึกกร่อน โดยแสดงให้เห็นความแตกต่างของโลหะมีตระกูลทางเทอร์โมไดนามิกส์กับโลหะมีตระกูลในทางปฏิบัติ (thermodynamically noble and practically noble) โดยกล่าวว่า กลไกของการสึกกร่อนสามารถคาดคะเนได้ล่วงหน้า ถ้าทราบว่ามีปฏิกิริยาใดเกิดได้เอง และผลผลิต

ที่เกิดหลังการสึกกร่อนตัวใดที่มีความเสถียร ซึ่งผลผลิตเหล่านี้ได้แก่ อีออนของโลหะ ออกไซด์ของโลหะ สารประกอบฮาโลเจน เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบการสึกกร่อนทางทฤษฎีและทางปฏิบัติจะเห็นได้ว่าการจัดแบ่งโลหะเป็นกลุ่มโลหะมีตระกูล และกลุ่มโลหะที่ทำปฏิกิริยาได้ง่ายตามทฤษฎีกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงนั้นไม่ตรงกัน และพบว่าอัตราการสึกกร่อนของโลหะไทเทเนียมหรือเหล็กกล้าไร้สนิม กลับมีค่าต่ำกว่าทองถึง 100 เท่า เมื่อถูกฝังในร่างกาย

โลหะผสมไทเทเนียม (Ti-6Al-4V) มีความต้านทานต่อการสึกกร่อนสูงเช่นกัน จากการทดสอบของ The American Society for the Testing of Materials and Standards เกี่ยวกับการฝังรากเทียมในมนุษย์ ยังไม่มีหลักฐานว่าโลหะผสมชนิดนี้เป็นตัวชักนำให้เกิดเนื้องอกหรือเกิดความผิดปกติของทารกในครรภ์ ทั้งนี้ชั้นของออกไซด์ที่ปกคลุมพื้นผิวของรากเทียมต้องไม่ถูกทำลายจากขั้นตอนการฆ่าเชื้อ กรรมวิธีระหว่างการผ่าตัดเพื่อฝังรากเทียม และการใช้มือหยิบจับผิวของรากเทียมโดยตรง<sup>(13)</sup>

อย่างไรก็ตาม ในปี 1988 Ducheyne<sup>(14)</sup> ได้แสดงผลการทดลองทางห้องปฏิบัติการพบว่า อลูมิเนียม และ วานาเดียม จากโลหะผสม Ti-6Al-4V สามารถซึมผ่านออกมาในสารละลายตัวกลางที่ใช้ทดสอบได้

### ไบโอคอมแพทิบิลิตี (Biocompatibility)

ไบโอคอมแพทิบิลิตี หมายถึง การเข้ากันได้ของวัสดุแปลกปลอมในอวัยวะของสิ่งมีชีวิต ในความเป็นจริงแล้วไม่มีวัสดุชนิดใด ๆ ที่มีไบโอคอมแพทิบิลิตีกับร่างกายอย่างสมบูรณ์ ไบโอคอมแพทิเบิลเมทเรียล จึงหมายถึงวัสดุใด ๆ ก็ตามที่มีเมื่ออยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตแล้วเกิดปฏิกิริยาต่อกันน้อยที่สุด โดยที่วัสดุนั้นไม่ถูกทำให้เสียหายโดยเนื้อเยื่อ หรือในทางกลับกัน เนื้อเยื่อนั้นก็ไม่ถูกทำลายด้วยวัสดุที่ฝังไว้เช่นกัน<sup>(1,6,14)</sup>

ไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียมต่างเป็นโลหะที่มีไบโอคอมแพทิบิลิตีที่ดี เนื่องจากมีชั้นของออกไซด์ยึดติดกับผิวของโลหะ ช่วยป้องกันการสัมผัสโดยตรงของอีออนของโลหะกับเนื้อเยื่อและออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างจากโลหะ<sup>(2,3)</sup> อย่างไรก็ตามไม่อาจยืนยันได้

ว่าไทเทเนียมเป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่มีคุณลักษณะพิเศษเช่นนี้ โลหะชนิดอื่น ๆ เช่น แทนทาลัม ไนโอเนียม ต่างมีความทนต่อการสึกกร่อน และสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตใกล้เคียงกับไทเทเนียม เพียงแต่โลหะเหล่านี้ยังไม่มีรายงานการติดตามผลในระยะยาวเกินกว่า 10 ปี เหมือนอย่างไทเทเนียม

ในปี 1983 Hansson และคณะ<sup>(15)</sup> พบว่ากระดูกและรากเทียมที่ทำจากไทเทเนียมมีการยึดติดโดยตรงไม่มีเนื้อเยื่ออ่อนขวางกัน Branemark เป็นคนแรกที่ตั้งนิยามของออสซีโออินทีเกรชัน โดยเชื่อว่าสาเหตุของการมีเนื้อเยื่อไฟบรัสเกิดรอบ ๆ รากเทียม ซึ่งจะนำไปสู่ความล้มเหลวของรากเทียมในภายหลัง คือ เทคนิคของการผ่าตัดและรากเทียมได้รับแรงจากการบดเคี้ยวขณะที่แผลยังไม่หายสมบูรณ์

ในปี 1985 Anneroth และคณะ<sup>(16)</sup> ได้ศึกษาการซ่อมแซมของบาดแผลหลังการฝังรากเทียมไทเทเนียมบริเวณพื้นหน้าล่างของลิง เป็นเวลา 7-12 สัปดาห์ โดยการตรวจทางจุลกายวิภาคศาสตร์ (histology) และเทคนิคทางจุลรังสี (microradiographical techniques) พบว่ามีการซ่อมแซมบาดแผลและเกิดออสซีโออินทีเกรชันอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยไม่พบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น และชี้ว่าความสำเร็จของรากเทียมขึ้นกับการหายของแผลอย่างสมบูรณ์ซึ่งต้องรอประมาณ 1 ปี ก่อนใส่ฟันปลอม

ในปี 1991 Jansen และคณะ<sup>(17)</sup> เปรียบเทียบลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ ภายหลังการฝังรากเทียมไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ปกคลุมผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์ในกระต่ายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ในรากเทียมที่ปกคลุมผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์มีการสัมผัสโดยตรงของกระดูกกับผิวรากเทียม โดยไม่มีเนื้อเยื่ออื่นขวางกัน และมีการสร้างของกระดูกขึ้นมากกว่า ผลการศึกษาของ Jansen และคณะ<sup>(17)</sup> ขัดแย้งกับการศึกษาของ Cook และคณะ<sup>(18)</sup> และ Meffert และคณะ<sup>(19)</sup> ซึ่งพบเนื้อเยื่อไฟบรัสลักษณะเป็นแคปซูลล้อมรอบรากเทียมเป็นส่วนใหญ่ มีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่พบการเกิดออสซีโออินทีเกรชัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากเทคนิคในการผ่าตัดแตกต่างกัน

Young และคณะ<sup>(20,21)</sup> ศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์และจุลรังสีวิทยาของเนื้อเยื่อที่เกิดรอบรากเทียมที่ทำจากโลหะผสม Ti-6Al-4V ในลิง พบว่า เกิด

การยึดติดโดยตรงระหว่างเนื้อเยื่อของกระดูกและรากเทียมโดยไม่ปรากฏเนื้อเยื่อไฟบรัสแทรกอยู่ระหว่างพื้นผิวสัมผัส สอดคล้องกับการศึกษาของ Katsikeris และคณะ<sup>(22)</sup> ในขณะที่ Lincow<sup>(23)</sup> ได้อ้างถึง Chiarenza ซึ่งเป็นผู้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่าถ้าให้แรงลงสู่รากเทียมมากพอ จะเกิดการสร้างของชั้นเนื้อเยื่อไฟบรัสรอบรอยต่อระหว่างรากเทียมกับกระดูกขึ้นได้เช่นกัน

Menhaghan และคณะ<sup>(24)</sup> พบว่าเนื้อเยื่อที่อยู่รอบรากเทียม ชั้นลึกสุดติดผิวรากเทียมเป็นชั้นของไฟโบรบลาสต์ที่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ชั้นกลางเป็นเนื้อเยื่อยึดต่อของกระดูก และหลอดเลือด (vascular osteogenic connective tissue) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของออสติโอเบลาสต์ (osteoblast)

Cranin<sup>(5)</sup> และ Lincow<sup>(25)</sup> อ้างถึงการศึกษานของ Suzuki, James, Chiarenza, Fiegel และ Makek ซึ่งพบเพอริอิมพแลนต์ลิกาเมนต์ (peri-implant ligament) เกิดขึ้นรอบ ๆ ไทเทเนียม เอนโดสเคียสเบลเดนติอิมพแลนต์ (titanium endosseous blade-vent implants) หลังจากการใช้งาน Lincow เรียกลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ไฟโบร-ออสเซียส อินทีเกรชัน” (fibro-osseous integration) ซึ่งสามารถมองเห็นได้จากการใช้โอเล็กตรอน ไมโครสโคป บางครั้งออสซีโออินทีเกรชัน และไฟโบรออสเซียสอินทีเกรชันอาจเกิดร่วมกัน เรียกว่า ออสซีโอแวรีเกชัน (osseovariation) หากสัดส่วนของการสัมผัสโดยตรงของผิวรากเทียมกับกระดูกที่ล้อมรอบมากขึ้น ระยะเวลาของความสำเร็จหลังการฝังรากเทียมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย<sup>(9,26-29)</sup>

Lincow<sup>(25)</sup> มีความเห็นโต้แย้งกับ Branemark เกี่ยวกับหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดว่ามีการเกิดออสซีโออินทีเกรชัน<sup>(30)</sup> ว่าเป็นเพียงการพิจารณาจากภาพรังสีและผลทางคลินิกที่มีการยึดติดแน่นของรากเทียม เขากล่าวว่าเป็นการยากที่จะตัดสินความสำเร็จของการเกิดออสซีโออินทีเกรชัน จากการประเมินภาพรังสีซึ่งอาจให้ภาพลวงตาได้

แม้จะมีความเห็นที่แตกต่างกันมากมายเกี่ยวกับชนิดของเนื้อเยื่อที่เกิดรอบรากเทียม แต่ไทเทเนียมก็ได้รับการยอมรับแล้วว่าเป็นโลหะที่มีไบโอคอมแพทิบิลิตีที่ดีที่สุดตัวหนึ่ง และมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแตกต่างนี้มีได้ขึ้นกับชนิดของโลหะ

เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับเทคนิคของการผ่าตัด รูปร่างของรากเทียม และแรงบดเคี้ยวเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

## บทวิจารณ์และสรุป

จากคุณสมบัติของไทเทเนียมที่กล่าวมาแล้วข้างต้น มีเหตุผลหลายประการที่สนับสนุนว่าวัสดุนี้เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุรากเทียมฝังในกระดูกและเนื้อเยื่อกล่าวคือ

ไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม โดยเฉพาะ  $\alpha$ - $\beta$  alloy มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี จัดเป็นวัสดุในอุดมคติ (ideal material)<sup>(7)</sup>

ไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียม เป็นโลหะที่รีแอ็กทีฟ (reactive)<sup>(6,7)</sup> หมายถึง จะเกิดออกไซด์บนผิวโลหะเมื่อโลหะนี้อยู่ในอากาศ น้ำ หรือในอิเล็กโทรไลต์ใด ๆ ออกไซด์เหล่านี้เป็นสารประกอบที่คงทน ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มปกป้องโลหะจากการถูกทำลายทางเคมี และมีความเสถียรสูงสุดในสภาวะแวดล้อมของร่างกาย ความคงทน (stability) และความเฉื่อย (inertness) ของชั้นออกไซด์ที่ปกคลุมผิวโลหะ ทำหน้าที่ปกป้องไทเทเนียมจากการสึกกร่อนเมื่ออยู่ในร่างกาย

ไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมเป็นโลหะที่มีไบโอคอมแพทิบิลิตีที่ดีกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตามการติดตามผลของโลหะผสม Ti-6Al-4V ที่มีต่อร่างกายในระยะยาวยังจำกัด จึงต้องติดตามผลต่อไป

ในปัจจุบันมีรากเทียมหลายระบบ ซึ่งทำจากไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียม โดยปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวไทเทเนียม ด้วยการทำเป็นรูปเกลียว หรือเคลือบผิวโลหะ ตลอดจนการออกแบบรูปร่างของรากเทียมในลักษณะต่าง ๆ อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการฝังรากเทียมมิได้ขึ้นกับชนิดและรูปร่างที่แตกต่างกันของระบบใดระบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว การพิจารณาเลือกใช้รากเทียมให้เหมาะสมกับสภาพช่องปากของผู้ป่วยแต่ละคน ซึ่งมีปัญหาแตกต่างกันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาอย่างรอบคอบ

## เอกสารอ้างอิง

1. Lemons, J., and Natiella, J. : Biomaterial, biocompatibility and peri-implant consideration. Dent Clin North Am. 30 : 3 - 23, 1986.

2. Branemark, P-I., Zarb, G., and Alberktsson, T. : Tissue integrated prosthesis : Osseointegration in Clinical Dentistry. Quintessence Publ. Co., Chicago, 1985, pp. 11 - 76.
3. Alberktsson, T. and Lekholm, U. : Osseointegration current state of the art. Dent Clin North Am. 33 : 537 - 554, 1989.
4. Alberktsson, T., and Sennerby L. : State of the art in oral implants. J Clin Periodontol. 18 : 474 - 481, 1991.
5. Cranin, A.N. : An introduction to studies of the dental implant interface : An historic overview. J Oral Implantol. 13 : 567 - 580, 1988.
6. Steinemann, S.G. : The properties of Titanium. In : Schroder, A., Sutter, F., and Krekler, G. (eds), Oral Implantology. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York., 1991, pp. 1 - 58.
7. Parr, G.R., Gardner, L.K., and Toth, R.W. : Titanium : The mystery metal of implant dentistry. Dental material aspects. J Prosthet Dent. 54 : 410 - 414, 1985.
8. Phillips, R.W. : Skinner's Science of Dental Materials, 9th edition. WB Saunders Company, Philadelphia, 1991, pp. 553 - 558.
9. Adell, R., Lekholm, U., Rockler, B., and Branemark, P-I. : A 15 - year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Int J Oral Surg. 10 : 417 - 422, 1981.
10. Kasemo, B. : Biocompatibility of titanium implants : Surface science aspects. J Prosthet Dent. 49 : 832 - 837, 1983.
11. Doundoulakis, J.H., Park, R. : Surface analysis of titanium after sterilization : Role in implant - tissue interface and bioadhesion. J Prosthet Dent. 58 : 471 - 478, 1987.
12. Speck, K.M., and Fraker, A.C. : Anodic polarization behavior of Ti-Ni and Ti-6Al-4V in simulated physiological solutions. J Dent Rest. 59 : 1590 - 1595, 1980.
13. Lemons, J. : Surface evaluation of materials. J Oral Implantol. 12 : 396 - 405, 1986.
14. Ducheyne, P. : Titanium and calcium phosphate ceramic dental implants, surface, coating and interfaces. J Oral Implantol. 14 : 325 - 340, 1988.
15. Hansson, H.A., Albrektsson, T., and Branemark, P.T. : Structural aspects of the interface between tissue and titanium implants. 50 : 108 - 113, 1983.
16. Anneroth, G., Heastrom, K.G., Kjellman, O., Kondell, P.A., and Nordenram, A. : Endosseous titanium implants in extraction sockets. An experimental study in monkeys. Int J Oral Surg. 14 : 50 - 54, 1985.
17. Jansen, J.A., Waerden J.P.C.M. Van de, Wolke, J.G.C., and Groot, K. : Histologic evaluation of the osseous adaptation to titanium and hydroxyapatite - coated titanium implants. J Biomed Mater Res. 25 : 975 - 989, 1991.
18. Cook, S.D., Thomas, K.A., Kay, J.F., and Jarcho, M. : Interface mechanics and histology of titanium and hydroxyapatite-coated titanium for dental implant application. Int J Oral Maxillofac Impl. 2 : 15 - 22, 1987.
19. Meffert, R.M., Block, M.S., and Kent, J.N. : What is osseointegration. Int J Periodont Rest Dent. 4 : 9 - 21, 1987.
20. Young, F.A., Spector, M., and Kresch, C.H. : Porous titanium endosseous dental implants in rhesus monkeys : Microradiography and histological evaluation. J Biomed Mater Res. 13 : 843 - 847, 1979 a.
21. Young, F.A., Kresch, C.H., and Spector, M. : Porous titanium

- tooth roots : Clinical evaluation. J Prosthet Dent. 41 : 561 - 569, 1979 b.
22. Katsikeris, N., Listrom, R.D., and Symington, J.M. : Interface between titanium 6, 4 alloy implants and bone. Int J Oral Maxillofac Surg. 16 : 473 - 476, 1987.
23. Lincow, L.T. : Implant dentistry today, A multidisciplinary approach. Piccin - Padau, Italy, 1990, pp. 214 - 219.
24. Meenaghan, M., Natiello, J., Armitage J.E., and Wood, R.H. : Evaluation of the crypt surface adjacent to metal endosseous implants. J Prosthet Dent. 31 : 574 - 581, 1974.
25. Lincow, L.I. : Implant dentistry today, A multidisciplinary approach. Piccin - Padau, Italy, 1990, pp. 1443 - 1470.
26. Lincow, L.I., Rinaldi, A.W., Weiss, W.W., and Smith, G.H. : Factors influencing long term implant success. J Prosthet Dent. 63 : 64 - 73, 1990.
27. Albertsson T. : A multicenter report on osseointegrated oral implants. J Prosthet Dent. 60 : 75 - 84, 1988.
28. Hale, T.M., Boretsky, B.B., and Scheidt, M.J. : Evaluation of titanium dental implant osseointegration in posterior edentulous area of micro swine. J Oral Implantol. 17 : 118 - 124, 1991.
29. Weiss, C.M. : Short and long - term bone maintainance surrounding fibro - osteal and osteal integrated dental implants. J Oral Implantol. 16 : 12 - 19, 1990.
30. Hansson, B.O. : Success and failure of osseointegrated implants in the edentulous jaw. Swed Dent. (Suppl. 1) : 5 - 101, 1977.
-

## Review Article

---

# Titanium as an Implant Material

### Abstract

*Titanium has been used for dental and medical applications for more than 20 years. It is well-known for its high degree of biocompatibility, its strength and its corrosion resistance. At present, titanium is widely used for dental implant. A long-term follow up shows that there is no toxicological side effect from the implant. To improve the physical and mechanical properties of pure titanium, it is mixed with aluminium and vanadium in a certain concentration. The alloy composed of 90% titanium, 6% aluminium and 4% vanadium (Ti-6Al-4V) is an excellent implant material. It is light, strong and highly resistant to fatigue and corrosion. This paper presents the basic properties of titanium and its alloy. It is our view that although Ti-6Al-4V alloy is popular for human implantation, the clinical study of its effect is still controversial. A dentist needs to understand thoroughly about titanium and its alloy before one performs any implantation with them so that the patients could receive the most benefit.*

Submitted on 26 February 1993

---

**Urairat Akraithit D.D.S.**

Dental Division, Nakornpanom Hospital

**Rajapas Panichuttra B.Sc., D.D.S., M.S.D., Cert. in Prosthodontics**

Instructor, Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University