



Title	2種類の象牙質接着システムのヒト・牛歯象牙質への接着性の検討
Author(s)	成徳, 英理
Citation	北海道大学. 博士(歯学) 甲第13046号
Issue Date	2018-03-22
DOI	10.14943/doctoral.k13046
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/89187
Type	theses (doctoral)
File Information	Eri_Seitoku.pdf



[Instructions for use](#)

博士論文

2種類の象牙質接着システムのヒト・牛歯
象牙質への接着性の検討

平成30年 3月申請

北海道大学
大学院歯学研究科口腔医学専攻

成徳 英理

2種類の象牙質接着システムのヒト・牛歯象牙質への接着性の検討

Evaluation of adhesion to human and bovine dentin using current dentin adhesive

成徳 英理^{1,*}, 星加 修平², 角田 晋一², 池田 考績², 田中 享², 佐野 英彦²

¹北海道大学大学院歯学研究科 歯科保存学教室

²北海道大学大学院歯学研究院 歯科保存学教室

〒060-8586 札幌市北区北13条西7丁目 (1,2 とも)

*Corresponding author : 成徳 英理

e-メール : seitoku3045@den.hokudai.ac.jp

電話番号 : 011-706-4261

キーワード : ヒト・牛歯象牙質、接着性、石灰化

[抄録]

本研究では、1) 2ステップ型接着システムと1ステップ型接着システムの接着能を比較し、2) 牛歯がヒト歯の代替として用いる事が出来るのかを検討するため、微小引張り接着強さ試験、SEM 観察、破断面の観察、接触角測定およびヌープ硬さ試験を実施した。その結果、ヒトの歯冠においては2ステップ型接着システムの方が1ステップ型接着システムよりも接着性が高いこと（各々、 $66.8 \pm 22.7 \text{MPa}$ および $47.6 \pm 20.3 \text{MPa}$ ）が示された。その他の条件（牛歯冠、ヒト歯根、牛歯根）においては、1) ステップ型接着システムは1ステップ型接着システムよりも接着性が高い傾向を示したが、有意差は認められなかった。また2ステップ型接着システムを用いた場合、ヒト歯冠部への接着強さは牛歯冠部よりも有意に高い値を示した。また破断面を観察したところ、牛歯冠部のみ象牙質の凝集破壊が非常に多く観察された。これは、牛歯冠部象牙質は、ヒト歯冠部象牙質と比較して硬さに劣る（各々、 59.4 ± 6.2 および 64.1 ± 8.1 ）ため、機械的なストレスにより凝集破壊が起こりやすいことが考えられる。このヌープ硬さの違いは各々の比重の違い（ 63.8 ± 7.1 および 61.0 ± 4.3 ）がその一因と考えられた。一方、歯根においては、いずれの試験と観察結果でも有意な差は見られなかった。

以上より、ヒト歯の代替試料として牛歯を用いる場合、歯根はそのまま適応できるが、歯冠についてはその適用範囲に留意する必要があることが示唆された。

キーワード：ヒト・牛歯象牙質、接着性、石灰化

[緒言]

2002年、「国際歯科連盟」より提唱された M.I. (ミニマルインターベンション Minimal Intervention) の歯科治療において、歯質や歯髄の犠牲を最小限に抑え、保存する治療が近年大きく提唱されてきている^{1,2)}。そのような中、コンポジットレジンが操作性も簡便で、審美性も良い上、M.I.の概念に沿う今日の臨床では欠かせない歯科材料である。コンポジットレジンの接着に強く影響するのは歯科用接着システムであり、当初、接着システムは、エッチング、プライミング、ボンディング処理で行う3ステップ型接着システムが主流であった。その後、臨床的な要求から操作がより簡便かつ処理時間が短時間である、2ステップ型接着システム^{3,4)}、更には3ステップを一括して行う1ステップ型接着システムが開発され、広く臨床で使用されている⁵⁾。

1ステップ型接着システムは従来の2ステップ型接着システムと比較した場合、同等の接着能を持つという報告があるが^{6,7)}、接着能が劣っているという報告もある^{8,9)}。その理由として1ステップ型接着システムはすべての成分を配合することによる時間経過による有効成分の液の相分離のため接着能が低下する¹⁰⁾。また1ステップ型接着システムでは含有成分である酸性機能性モノマーの

歯質脱灰能が2ステップ型接着システムと比較した場合、脱灰能が低く、窩洞形成時の際に産生されるスミヤー層が十分に脱灰されず^{11,12)}、接着能に影響をもたらすということが指摘されている。このように、1ステップ型接着システムの接着能は研究者によって見解が異なっており、さらなる検討が必要である。

一方、歯科の接着の研究ではヒトの抜去歯の代替として、歯が大きく扱いやすく比較的手に入りやすいことから牛の切歯を使用している研究が多く認められる^{13,14)}。今日、ヒト抜去歯が入手しにくくなっているため、牛歯を用いた研究がさらに増加し主流になることが予想される。牛歯において、森田らは屠殺直後に抜歯することにより同条件での保存が可能であり、歯齢も統一することができるため、純粋に各接着材間の比較ができ、データのばらつきも最小限に抑えることが可能であると報告している¹⁵⁾。このため、被験歯の違いによる差を減少させ、正確に接着材料間の比較ができ、データのばらつきも少なくすることが可能であると考えられる。しかし、牛歯は石灰化過程でヒト歯との違いがあり、脈管象牙質の存在などヒト歯の組織構造と異なっているため、ヒト歯との結果と異なることが危惧される¹⁶⁾。

そこで本研究では、2ステップ型接着システムと1ステップ型接着システム

の接着能の比較と接着試験に牛歯をヒト歯の代替可能であることを検討することを目的として、健全ヒト歯と健全牛歯の歯冠部、歯根部にそれぞれ2ステップ型接着システムと1ステップ型接着システムで処理した後、微小引張り接着強さ試験を行い、接着強さ試験後の破断面を破壊形式のよって分類し、走査型電子顕微鏡を用いて象牙質接着界面の性状を形態学的に観察した。

また、健全ヒト歯と健全牛歯の歯冠部、歯根部象牙質が接着システムの接着能に影響を与える物理的要因として接着角、硬さ、および比重の測定を行った。

[材料と方法]

1, 接着試料の作製

0.5%クロラミンT水溶液(4°C)中に保存された, 個人の特典出来ない16本の健全ヒト抜去上顎小白歯と冷凍された16本の健全牛抜去下顎前歯を用いた. なお, 本研究に使用したヒト抜去歯は北海道大学大学院歯学研究科臨床・疫学研究倫理診査委員会に承認された研究計画(承認番号2013第7号)に従って収集された.

それぞれ歯冠部, 歯根部に分け, 2ステップ型接着システム, すなわちクリアフィル Mega Bond 2 クラレノリタケデンタル, 以下 CMB), 1ステップ型接着システム, すなわちクリアフィル Universal Bond Quick (クラレノリタケデンタル, 以下 CUB) の2種を用い, 8グループの試料を各4本ずつ作製した.

歯冠部象牙質について: 健全ヒト抜去上顎小白歯歯冠部をモデルトリマー(MT-7 モリタ)にて歯軸に垂直に切削し, 平坦な歯冠部中央象牙質面を得た. その平坦象牙質を耐水研磨紙#600を用いて, 60秒間研磨し, 被着面とした.

冷凍した健全牛抜去下顎前歯を試料作製直前で解凍し, 歯冠部をモデルトリ

マーを用い、直径 6~8mm 程度の平坦な象牙質が得られるように唇側中央部を切削した。この研削面を耐水研磨紙 #600 で 60 秒間研磨し、被着面とした。

歯根部象牙質について：健全ヒト抜去上顎小臼歯、健全牛抜去下顎前歯とともに、セメント-エナメル境にモデルトリマーを用いて、歯軸に対して垂直に切断し、平坦な歯根象牙質面を得た。この研削面を耐水研磨紙 #600 で 60 秒間研磨し、被着面とした。

歯根に残存している歯髄除去後、歯髄腔内にコンポジットレジン クリアファイル AP-X shade : A2 (クラレノリタケデンタル 以下 AP-X) で充填し、10 秒間光照射 (PENCRE 2000 MORITA) 確認を行った。

歯冠部象牙質、歯根部象牙質それぞれの研磨面が汚染しないように注意しながら、CMB または CUB を用い、メーカーの指示に従って処理し、AP-X を高さ約 5 mm になるように築盛し、40 秒間光照射を行った (ヒト歯と牛歯の歯冠部、歯根部各 4 本に CMB, ヒト歯と牛歯の歯冠部、歯根部各 4 本に CUB)。

2、微小引張り接着強さ (μ TBS) の測定

試料を 37°C 水中に 24 時間保存後、精密低速切断機 (Isomet 11-1280-170, Buehler,

USA 以下 Isomet) にて歯軸に平行に 6~7 枚の試料を切り出し、象牙質接着界面が 1mm×1mm となる角柱ビーム型を製作し、 μ TBS を測定した。

測定には、小型卓上万能試験機 (EZ-test 島津製作所) を用いて微小引張り試験をクロスヘッドスピード 1mm/min の条件にて行った。測定値の統計学的検討は、一元配置分散分析および Game-Howell の検定を用いて有意水準 5% で行った。

3. 破壊形式の分類

微小引張り試験後の破断試片について、その破壊形式を分類するために、デジタルマイクロスコープ (VHX-5000 KEYENCE) を用いて 20 倍の倍率で破断面の観察を行った。破壊形式は、象牙質での凝集破壊とレジンでの凝集破壊および混合破壊の 3 種類に分類した。

4. 象牙質接着界面の SEM 観察

微小引張り接着強さ試験と同様の方法で健全ヒト抜去上顎小白歯、健全ウシ抜去下顎前歯を各 16 本ずつ歯冠部、歯根部に分け CMB, CUB を用いて試料を

作製した。

それらの試料を 37°C 水中に 24 時間保存後，Isomet にて歯軸に平行に 1.5mm 幅の試料を切り出した。

次いで，流水下で耐水研磨紙 # 600，# 800，# 1000，# 1200 を用い研磨し，次いで浸潤下でダイヤモンドペースト (6 μ m, 3 μ m, 1 μ m) にて順次研磨した。1mol/l リン酸水溶液で 60 秒間，5% 次亜塩素酸ナトリウム水溶液で 5 分間処理を行った。試料台に配置後，研磨面を Pt-Pd 蒸着 (E-1040，日立製作所) 後，象牙質との接着界面の走査型電子顕微鏡 SEM (S-4000 日立製作所 以下 SEM) 観察を行った。

5. 接触角(ぬれ性)の測定

健全ヒト抜去上顎小白歯と健全牛抜去前歯の歯冠部，歯根部のぬれ性の評価を行うため，接触角試験を行った。微小引張り強さ接着試験の試料製作と同様の方法で試料製作を行った。接触角の測定にはデジタルマイクロスコープ (VHX-5000 KEYENCE) を用い，装置に付属する画像解析ソフトウェアを用いて接触角を算出した。接着試料と同様の作製方法で試料を作製した。水中から

取り出し 60 秒放置後、30 秒のエアールをかけ、その面に蒸留水を 1.5 μ l 滴下し、直後の接触角を測定した。試料数は各条件につき 2 個とし、1 試料につき 5 カ所を測定した計 10 カ所の平均値を求めた。測定値の統計学的検討は、Student の t 検定を用いて有意水準 5%で行った。

6、ヌープ硬さの測定

ヒト歯の歯冠部、歯根部、牛歯の歯根部は歯軸に対し垂直に、牛歯の歯冠部では歯軸に対し水平に Isomet でそれぞれ切断し、流水下で耐水研磨紙 # 800, # 1000, # 1200, # 2000 を用い研磨し、次いで湿潤下で粒径 6 μ m, 3 μ m, 1 μ m のダイヤモンドペーストにて順次に研磨した。1 週間インキュベーター内で乾燥後、微小硬度計 (model-MVK, type-C, AKASHI) を用いて、試験荷重 100gf, 荷重保持時間 10 秒の条件下でヒト歯と牛歯の歯冠部、歯根部のヌープ硬さの測定を行った。測定値の統計学的検討は、測定値については、Student の t 検定を用いて有意水準 5%で行った。

7, 象牙質の比重の測定

ヌープ硬さの測定試料と同様にヒト歯と牛歯を Isomet でそれぞれ切断し、流水下で耐水研磨紙 #600 で約 4 mm×4 mm, 厚さ 1 mm の直方体に調整, 成形し、1 週間乾燥後, 3 辺の長さ(a, b, c)を各々採寸した。採寸後, 電子天秤 (LIBROR AEG-320G SIMADZU) で秤量し, インキュベータ中に保存した。乾燥後に各々を再度, 秤量(x)した。比重 d は, 比重 $d = x \text{ (g)} / (a \text{ (cm)} \times b \text{ (cm)} \times c \text{ (cm)})$ の式に基づき算出した。測定値の統計学的検討は, 測定値については, Student の t 検定を用いて有意水準 5% で行った。

8, 統計学的検討

微小引張り接着強さの測定値の統計学的検討は, 一元配置分散分析および Game-Howell の検定を用いて有意水準 5% で行った。ぬれ性, ヌープ硬さ, 比重の測定値については, Student の t 検定を用いて有意水準 5% で行った。

[結果]

1, 微小引張り接着強さ (μ TBS) の測定

図 2 に μ TBS の測定結果を示す.

接着システムについてヒト歯の歯冠部では CMB と CUB 間で有意差が認められ, それぞれ $66.8\pm 22.7\text{MPa}$ および $47.6\pm 20.3\text{MPa}$ であった. ヒト歯の歯根部, 牛歯の歯冠部, 牛歯の歯根部では有意差は認められなかった. また, ヒト歯根部, 牛歯根部の CMB と CUB 間では有意差は認められなかった.

ヒト歯と牛歯の比較に関して CMB を用いた場合, 歯冠部においてヒト歯が $66.8\pm 22.7\text{MPa}$, 牛歯が $55.3\pm 22.3\text{MPa}$ であり有意差が認められた. CMB における歯根部では有意差は認められず, CUB では歯冠, 歯根ともにヒト歯と牛歯に有意差は認められなかった.

2, 破壊形式の分類

微小引張り接着強さ試験後の破壊形式を図 3 に示した. ヒト歯の歯冠部およびヒト歯の歯根部, 牛歯の歯根部では主に接着面と象牙質の混合破壊が認めら

れた。一方、牛歯の歯冠部の場合、混合破壊と象牙質凝集破壊がほぼ同等の割合で認められた。

3, 象牙質接着界面の SEM 観察

図4に各接着システムにより処理したヒト歯、牛歯の接着界面の SEM 像を示す。

ヒト歯、牛歯ともに **CMB** を適応させた場合、ボンディング材が象牙細管内に侵入し、硬化されていることが確認されレジンタグ認められた。ヒト歯冠部、歯根部ともに密で長いレジンタグが認められた。また、**CUB** を用いた場合ヒト歯冠部では疎なレジンタグが認められた。ヒト歯根部では疎なレジンタグが認められたが、象牙細管内には侵入していない。一方、牛歯の歯冠部象牙細管内にレジンタグが折れて残っているのが確認された。**CMB**、**CUB** ともに牛歯根部でレジンタグは認められず、象牙細管の開口が認められた。

ヒトの歯の象牙細管の直径は約 $2\ \mu\text{m}$ 、牛の歯の象牙細管の直径は約 $2\sim 4\ \mu\text{m}$ で違いが認められた。

4, 接触角(ぬれ性)試験

図5に接触角の結果を示す。ヒト歯の歯冠と牛歯の歯冠部の接触角を比較すると、ヒト歯の方が接触角が小さく、ぬれ性が良いことが確認され有意差が認められた。また歯根部ではヒト歯と牛歯ともに歯冠部と比較して接触角が有意に大きく、歯冠部よりもぬれ性が悪いことが確認されたが、ヒト・ウシ間では有意差は認められなかった。

5, ヌープ硬さの測定

図6にヌープ硬さの測定結果を示す。ヒト歯の歯冠部が 64.1 ± 8.1 に対し、牛歯の歯冠部が 59.4 ± 6.2 でありヒト歯の歯冠部の方が有意に高い値を示した。しかし、歯根部ではヒト歯と牛歯との有意差は認められなかった。ヒト歯における歯冠部と歯根部間、牛歯における歯冠部と歯根部間にはともに有意差は認められなかった。

6, 象牙質の比重の測定

図7にアパタイト、ヒト歯および牛歯の比重の測定結果を示す。ヒト歯の歯冠

部は 2.0 ± 0.2 , 牛歯の歯冠部は 1.7 ± 0.1 , アパタイトは 2.8 ± 0.1 であった。各々の比重には有意差が認められた。歯根部についてはヒト歯, 牛歯ともに 1.6 ± 0.1 であり, ヒト歯冠部の値よりも有意に小さい値を示した。また, 牛歯冠象牙質は乾燥による 2-5%の重量の減少が認められた。

[考察]

歯科用接着接着性システムはエッチング、プライミング、ボンディングの3ステップ型接着システムの使用が高い接着をもたらす要件となっていた。その後、酸性モノマーの開発によって象牙質への接着力が向上によりエッチングとプライミングを一体化としたプライマーを応用し、ボンディング剤を塗布する2ステップ型接着システムに改良され、更に近年のニーズの高まりにより操作性の簡便性、時間の短縮化を目的とした全ての操作合わせた1ステップ型接着システムが開発された。

微小引張り強さ試験において、ヒト歯の歯冠では **CMB** に比べて、**CUB** は酸性モノマーの効果が低く、スミア層が十分に脱灰しなかったことから接着に不可欠なレジンタグが形成¹⁷⁾せず、接着性が低かったと考えられる。また、**CMB** を用いた場合、ヒト歯の歯冠部は牛歯冠部よりも有意に高い接着強さを示した。破壊形式を確認すると、牛歯の歯冠部の場合、象牙質での凝集破壊の割合 50% 強と、ヒト歯冠部での 20% 弱と比べ、非常に高い割合で出現した。また接着界面の SEM 観察結果からは、両者とも象牙細管にレジンタグが入り込み、強固に接

着している様子が観察される。ぬれ性が大きいと酸性モノマーの浸透が促進されるため、接着強さが高くなることが報告されている¹⁸⁾。そのため、この界面において強固な樹脂含浸層が形成されていると考えられる。しかしヒト、牛歯冠部の硬さが異なることが、ヌープ硬さ試験から示された。硬いヒト歯冠部の場合には、主に接着システムを含む混合破壊が進行し、一方、硬さが不十分である牛歯冠部の場合には、牛の象牙質自身の破壊が進行したものと考えられる。一方、1ステップシステムの **CUB** の場合には、**CMB** と比較して脱灰能が低く、強固な樹脂含浸層ができず、接着システムと歯面との界面においては、レジntagの形成はあまり見られなかったと考えられる。主に機能性モノマーとして含有されている **MDP** はアパタイトと高い反応を示し、安定性が高く、加水分解されにくい塩を形成¹⁹⁾し、象牙質の接着化学的結合として大きく影響していると考えられる。ヒトと牛歯根部が **CMB**, **CUB** において有意差が認められなかったのは、ぬれ性が悪く、硬さおよび比重でも有意差が認められなかったことと考えられる。

ヒトと牛歯根部が強く接着した理由として、歯根部は歯冠部の象牙細管よりも開口部の直径は小さく数も少ない²⁰⁾。よって管間象牙質の占める割合は歯根

部の方が大きく、象牙細管は垂直方向よりも平行の方が高い接着があると報告されている^{21, 22)}。実際、歯根部との接着界面の破壊形式を比較すると、象牙質での凝集破壊は見られず、CMB を用いたヒト歯根部の試料にのみわずかに象牙質での凝集破壊が生じた。

ヒト、牛歯冠部の硬さの違いは象牙質の密度の違いによるものと考えられる。歯の石灰過度の進行に伴い、比重も増加する²³⁾という報告がなされており、今回の実験結果とも良く一致している。本研究では、ヒト象牙質の場合、アパタイトの70%強の比重を示したが、牛象牙質の場合、60%以下に留まっている。また、乾燥による重量の低下も、アパタイト・ヒト歯冠部では確認されず、牛歯冠部の象牙質でのみ生じていた。このことから歯の強度に影響すると考えられる無機(アパタイト)成分の割合が、牛歯冠部の象牙質では低いことが示唆される。一般的にヒトの象牙質では無規制分が約70%である²⁴⁾が、牛の象牙質では約60%という報告がある²⁵⁾。一方で、レジンタグの形成が少なく接着強度への影響が小さいと考えられる。CUB では、接着強度に対するヒト・牛の差異や歯冠・歯根の差異は認められなかった。また、歯根同士での違いや牛由来の試料においても、接着強度に有意な差は認められず、新規に開発されたCUBの従来型1

ステップ型接着システムに対する優位性が示唆された。

ヒト歯冠部以外では、CMB と CUB の有意差はみられなかった。この結果から、新規に開発された CUB の従来型 1 ステップ型接着システムでは、従来の 2 ステップ型接着システムと同等の接着強さを示すことが示唆された。

また、今回の結果では、ヒトと牛歯根部ではぬれ性、硬さ、比重において有意差は認められなかった。その結果、接着強度でも差が認められなかったと考えられる。ヒト歯冠部と牛歯冠部では、ぬれ性、硬さ、比重は有意差が認められた。その結果、接着強度ではヒトと牛歯冠部 CBM のみ差が認められた。

以上の結果から、ヒトの歯の代替として牛の歯は歯根部で代替できるが、歯冠部では接着条件によっては、牛歯冠部はヒトの歯冠部の代替なると考えられる。

日本では国産牛の多くは 2～3 歳の子牛を使用しており、それら子牛の永久下顎切歯は成牛の切歯と比べて、石灰化度が低いと言われている²⁶⁾。事実、子牛と成牛の歯への接着性を比較した場合、その特性が異なることを小菅らは報告している²⁷⁾。本研究で行った比重の比較のみでは、石灰化度を評価する直接的な指標とは言えないが、更なる検討、例えば象牙質に含まれる Ca 量の定量により、石灰化度の検討が可能である。またこれまで、典型的な硬組織である骨の強

度を評価するには骨量，すなわち骨密度を測定するのが最も効果的であると考
えられていたが，研究が進むにつれ，骨強度は骨量だけではなく骨質も影響を
及ぼすことが認識されるようになり，骨強度は骨量が 70%，骨質が 30%の割合
で決定すると定義された．そのため，骨密度のみならず骨質を含めた解析が，骨
強度の評価には非常に重要と考えられる．例えば，島津らは，従来の手法で
骨密度の評価を行うとともに，赤外分光イメージング法を用いて，骨断面の無
機/有機成分比（リン酸イオン/アミド結合）の分布を調べる事により，骨質の評
価も行った²⁸⁾．このような新たな手法の導入は，接着歯学を更なる発展へと導
く事も期待される．

ヒト歯冠部 CBM において差が認められたことから，ヒト歯冠部 CBM におい
ては 1 ステップ型接着システムよりも 2 ステップ型接着システムの方が接着強
さが強いことが分かった．

本研究から，ヒトの歯冠部では 2 ステップ型接着システムの方が 1 ステップ
型接着システムよりも高い接着強さを示すことが分かった．牛歯冠部，ヒト・牛
歯根部では 2 ステップ型接着システムと 1 ステップ型接着システムにおいては
接着強さに有意差がないことが分かった．

ヒト歯冠部と牛歯冠部の石灰化の違いにより、牛歯冠部 CBM, CUM において接着性が低く、象牙質凝集破壊を生じてしまうことが示された。そのため、牛歯をヒト歯の代替としては疑問が残ると考えられる。歯根は、歯科の臨床での **Black** の分類 I から V 級窩洞とは象牙細管の方向が異なるので好ましくないと考えられる。その結果、ヒト歯の代用に牛歯は疑問が残ると示唆された。

[結論]

本研究では、2ステップ型接着システムと1ステップ型接着システムの接着能の比較と牛歯はヒト歯の代替出来るのかを目的とし、以下の結論を得た。

- ・ヒトの歯冠部においては2ステップ型接着システムの方が1ステップ型接着システムよりも接着性が良いことが確認された。

- ・牛歯冠部象牙質は、ヒト歯冠部象牙質と比較して石灰度が低いと考えられるため、機械的なストレスによる凝集破壊が起こりやすい。そのため、ヒト歯の代替試料として牛歯を用いることは疑問が残ると考えられる。今後更なる検討を要する。

[参考文献]

- 1) FDI policy statement: Minimal intervention in the management of dental caries. 2002.
- 2) 富士谷盛興 : MI(Minimal Intervention)理念としたエビデンス (根拠) とコンセプト (合意) に基づく「齲蝕治療ガイドライン」. JICD 41:64-69, 2010.
- 3) Van MeerBeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G: Buoncore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. Oper Dent 28:215-235, 2003.
- 4) Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt K: State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater 27:17-28, 2011.
- 5) Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, Yoshida Y, Inoue S, Suzuki K: Technique-sensitivity of contemporary adhesives. Dent Mater J 24:1-13, 2005.
- 6) 川本千春, 福岡杏里, 星加修平, 田中 亨, 佐野英彦 : 各種ワンボトルワンステップ接着システム材の接着性能. 接着歯学, 26:52-57, 2008.
- 7) 森上誠, 杉崎順平, 宇野滋, 山田敏元 : 新規 1 ボトル 1 ステップ型ボンディング材 (Bond Force^{TR}) の歯質接合面の SEM・TEM 観察. Adhes Dent 20:1-

7, 2008.

- 8) 伊藤修一, 斎藤隆史: ワンステップボンディング材の象牙質接着強さおよび封鎖性, *Adhes Dent* 25: 182-189, 2007
- 9) 藤田慎一, 橋本正則, 加我正行, 八若保孝: ワンボトル接着性レジンの象牙質接着性. *小児歯科学雑誌*, 44:556-566, 2006.
- 10) 英將生, 秋本尚武, 桃井保子: ワンポイントセルフアドヒーシブの接着面の違いによる接着強さ. *Adhes Dent* 25:202-213, 2005.
- 11) 井上 宏, 井上 哲, 小松久憲, 佐野英彦: 新規 1 ステップ接着システムの象牙質研削に対する接着. *日歯保存誌*, 43:1211-1219, 2000.
- 12) 小阿瀬香織, 井上 哲, 小松久憲, 佐野英彦: 研削面の違いがレジメンセメントと接着システムの歯質接着性に及ぼす影響. *日歯保存誌*, 47:87-109, 2004.
- 13) 中村光男, 野川博史, 宮森沙耶香, 吉川真穂, 今井啓文, 小泉寛恭: 象牙質接着に対する各種表面処理材とセルフエッチングプライマーの併用効果. *Adhes Dent* 35:33-39, 2017.
- 14) 黒川弘康, 大城麻紀, 池田昌彦, 砂田織敦, 遠藤優子, 加藤亜樹, 坪田圭司, 宮崎真至, 金丸壽良, 若松英輝: ホワイトニング剤がウシ象牙質の弾性率お

よびヌープ硬さに及ぼす影響.日歯保存誌, 50:681-687, 2007.

- 15) 森田 誠, 西村 康, 坪田有史, 阿部菜穂, 山田欣伯, 橋本興, 福島俊士 :
各種接着性レジンセメントの象牙質に対する接着強さ. J Jpn Prosthodont Soc
47:38-47, 2003.
- 16) 三島弘幸, 星野和正, 田所 治, 本田知久, 尾崎 隆, 小澤幸重 : ウシ切歯
の組織の構造. 日大口腔科学, 23:337-345, 1997.
- 17) 山本一世: コンポジットレジン修復における接着システムの変遷, JICD
45:85-91, 2014.
- 18) 宮崎真至 : コンポジットレジン修復の臨床ポイント, JICD 47:73-78, 2016.
- 19) Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, Inoue S,
Tagawa Y, Suzuki K, De Munck J, Van Meerbeek B: Comparative study on
adhesive performance of functional monomers. J Dent Res 83:454-458, 2004.
- 20) 増田美樹子, 早川 徹, 渡辺 官, 五十嵐 郁, 高橋徹也, 北川剛至, 會
田雅啓 : 人歯歯冠象牙質および歯根象牙質と各種レジンセメントとの接着
性について, 補綴誌, 46:260-269, 2002.

- 21) Ogata M, Okuda M, Nakajima M, Pereira PNR, Sano H, Tagami J: Influence of the Direction of Tubules on Bond Strength to Dentin, *Operative Dentistry* 26:27-35, 2001.
- 22) 井上利志子, 高橋英和, 西村文夫: 象牙質の引張り強さに与える象牙細管走行と部位の影響(第2報), *歯科材料・器械*, 19:Special Issue 36, 2000.
- 23) 中道 勇: 各種修復材料の人歯と牛歯に対する接着力. *口病誌*, 49:31-40, 1982.
- 24) 斎藤 仁: 超微小領域におけるヒト歯質の硬さ試験方法ならびに硬さ分布に関する研究. *歯科材料・器械*, 10:241-265, 1991.
- 25) Perinka L, Sano H, Hosoda H: Dentin thickness, hardness, and Ca-concentration vs bond strength of dentin adhesives, *Dent Mater*, 8, 229-233, 1992.
- 26) 佐藤 光, 宮崎真至, 佐藤智美, 藤本善裕, 吉田武史, 山口佳奈子, 檜垣 潤, 小野瀬英雄: 異なる地域のウシ抜去歯が 2 ステップ接着システムの歯質接着性におよぼす影響について. *Adhes Dent* 22:157-168, 2004.
- 27) 小菅 玲, 工藤善之, 遠藤達雄, 小松正志, 奥田礼一: 牛歯の加齢ならびに歯種が象牙質とレジン材料の接着強さに与える影響. *日歯保誌*, 34:203-208,

1991.

- 28) Shimizu T, Takahata M, Kimura-Suda H, Kameda Y, Endo K, Hamano H, Hiratsuka S, Ota M, Sato D, Ito T: Autoimmune arthritis deteriorates bone quantity and quality of periarticular bone in a mouse model of rheumatoid arthritis. *Osteoporosis International* 28:709-718, 2017.

Figure Captions

表 1. 用いた接着システムおよびコンポジットレジン

表 2. 微小引張り接着強さ試験結果

図 1. 微小引張り接着強さ試験の模式図

図 2. 微小引張り接着強さ試験結果

図 3. 接着界面の SEM 像

図 4. 引張り試験破断面の破壊様式

図 5. 歯質表面のぬれ性試験

図 6. 歯質のヌープ硬さ試験結果

図 7. 歯質間の比重の比較

Evaluation of adhesion to human and bovine dentin using current dentin adhesive

Eri SEITOKU¹, Shuhei HOSHIKA², Shinini KAKUDA², Takatsumi IKEDA²,
Toru TANAKA², and Hidehiko SANO²

¹Graduate School of Dental Medicine, Hokkaido University, Kita 13, Nishi 7, Sapporo
060-8586, JAPAN

²Faculty of Dental Medicine, Hokkaido University, Kita 13, Nishi 7, Sapporo 060-8586,
JAPAN

Abstract

In this study, we investigate in 1) the adhesion capacity of 2 step adhesive system and 1 step type adhesive system, 2) whether bovine teeth can be used as a substitute for human teeth. For this purpose, the microtensile bond strength test, SEM observation, contact angle measurement, and Knoop hardness test was carried out. As a result, it was shown that in the 2-step adhesive system on human dental crown had a significantly higher adhesion than the 1-step adhesive system (66.8 ± 22.7 MPa and 47.6 ± 20.3 MPa, respectively). In other conditions (cattle crown, human root, and bovine root), the 2 step type adhesive system showed a tendency to be more adhesive than the one step type adhesive system, but no significant difference was found. In addition, when using a 2 step type adhesive system, the adhesive strength to the human crown was significantly higher than that of the bovine crown. When the fracture surface was observed, cohesive failure

of dentin was observed frequently in only the bovine crown. As the dentin of bovine crown was inferior in hardness (59.4 ± 6.2 and 64.1 ± 8.1 MPa, respectively) as compared with the human crown dentin, cohesive failure on bovine dentin was conceivable to occur due to mechanical stress. The difference in Knoop hardness was conceivable to be attributed to the difference in density (63.8 ± 7.1 and 61.0 ± 4.3 H_(K), respectively) of each. On the other hand, no significant difference was found in the tooth root under any condition. From the above, it was suggested that when using bovine teeth as a substitute for human teeth, the root can be applied as it is, but it is necessary to pay attention to the range of adaptation for dental crown.

Keywords: human dentin / bovine dentin, adhesion, mineralization

接着システムおよびコンポジットレジン

	製品名	製造会社	Code	組成
2ステップ型 接着システム	Clearfil Mega Bond2		MB	Primer : MDP, HEMA, Hydrophilic dimethacrylate, Photo-initiator, Water Bond : MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophilic dimethacrylate, Photo-initiator, Silanated colloidal silica
1ステップ型 接着システム	Clearfil Universal Bond Quick	Kuraray Noritake Dental	UB	MDP, HEMA, Bis-GMA, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Colloidal silica, Silane coupling, dl-Camphorquinone, Ethanol, Water
コンポジット レジン	Clearfil AP-X		AP-X	Bis-GMA, TEGDMA, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, dl-Camphorquinone

MDP : 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

Bis-GMA : Bisphenol A diglycidylmethacrylate

HEMA : 2-Hydroxyethyl methacrylate

TEGDMA : Triethylene glycol dimethacrylate

表1 用いた接着システムおよびコンポジットレジン

	crown		root	
	CMB	CUB	CMB	CUB
Human	66.8 ± 22.7	47.6 ± 20.3	72.3 ± 19.5	61.3 ± 20.0
bovine	55.3 ± 22.3	51.0 ± 22.0	78.0 ± 27.2	69.0 ± 33.1

表2 微小引張り接着強さ試験結果

〈試料製作〉

n=16 (Human tooth : 8 Bovine tooth : 8)

The teeth cut into the tooth crown and root.

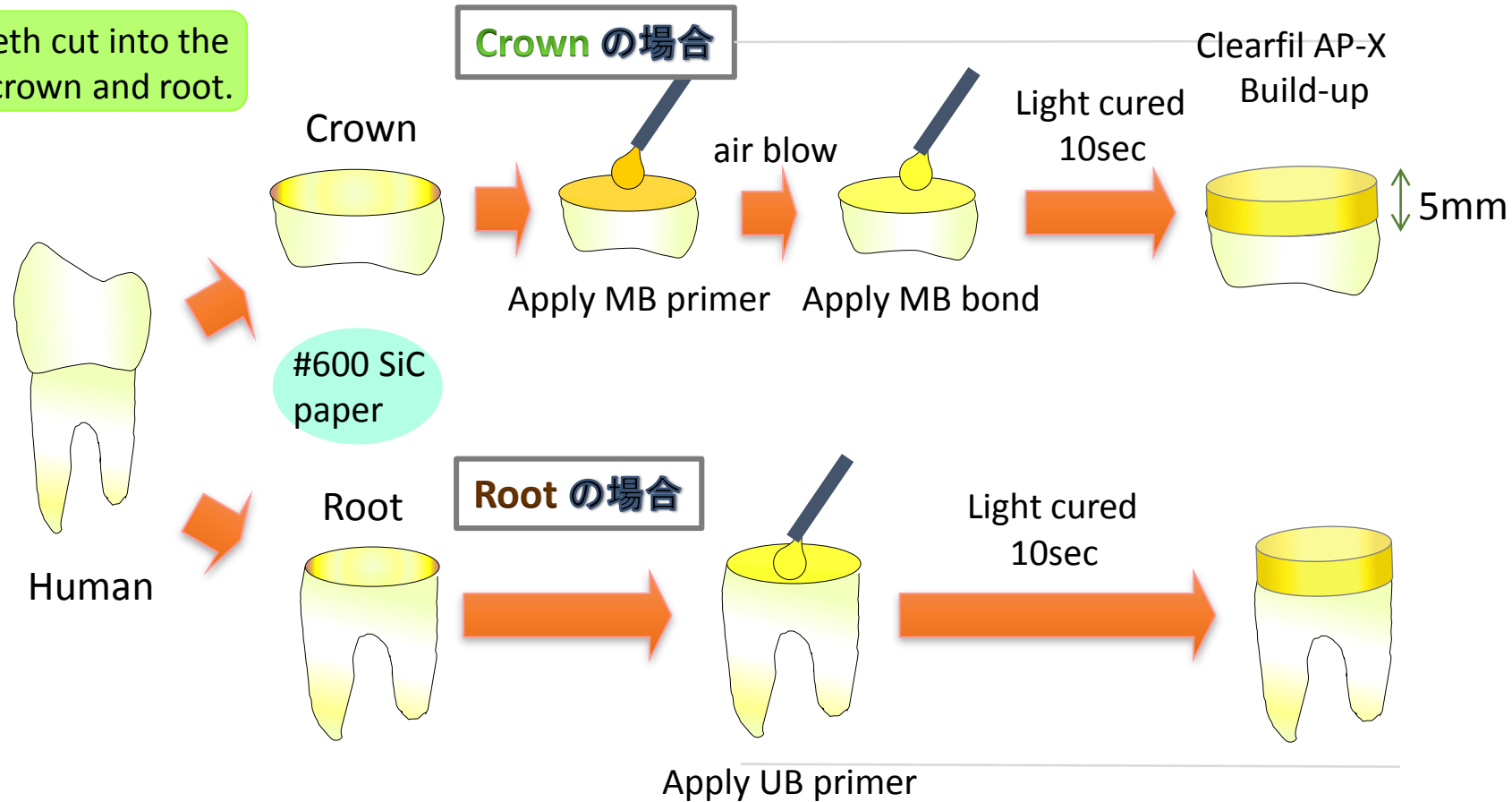


図1 微小引張り接着強さ試験の模式図

〈試料製作〉

n=32 (Human tooth : 16 Bovine tooth : 16)

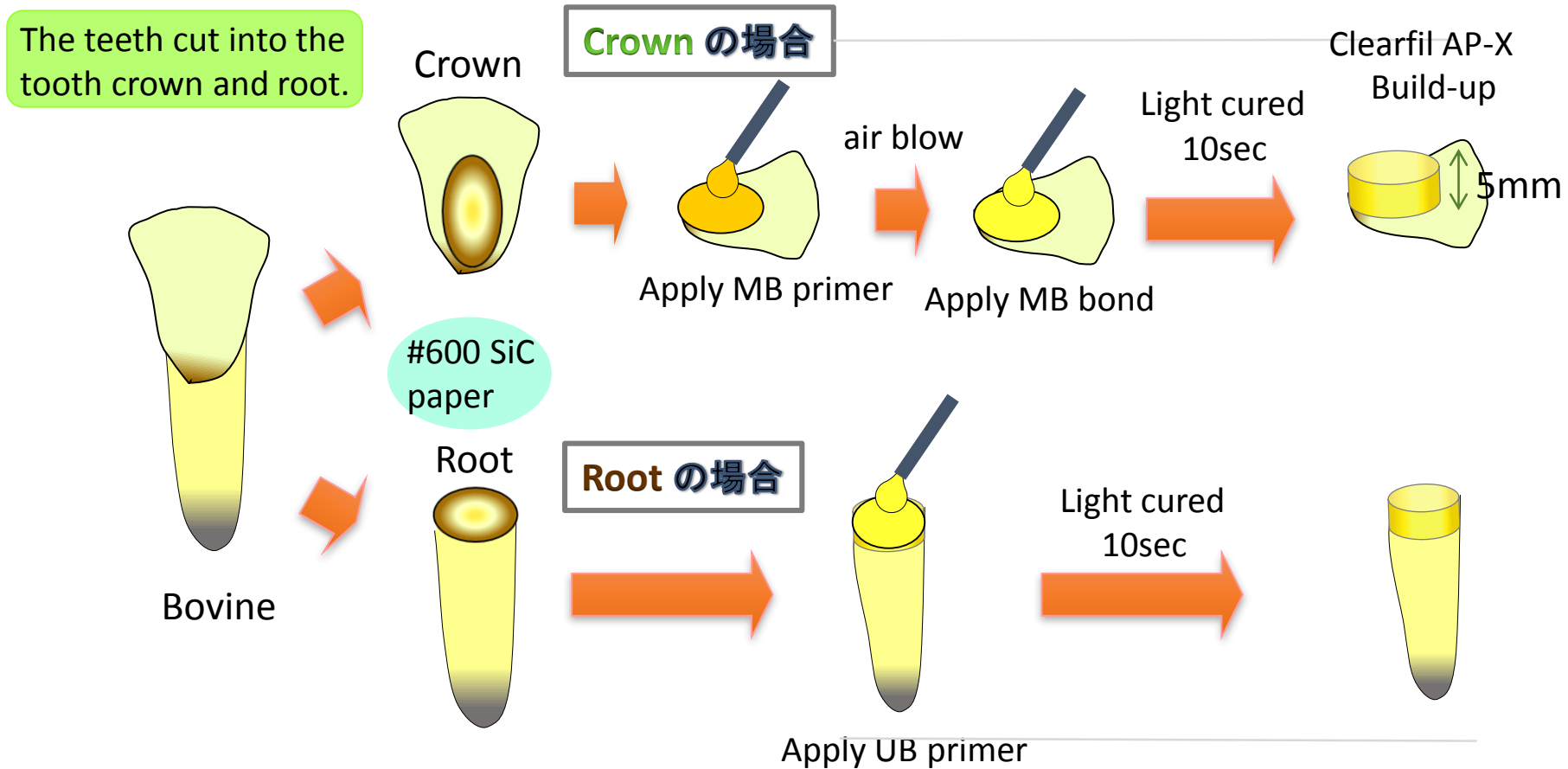


図1 微小引張り接着強さ試験の模式図(続き)

〈 μ TBSの模式図〉

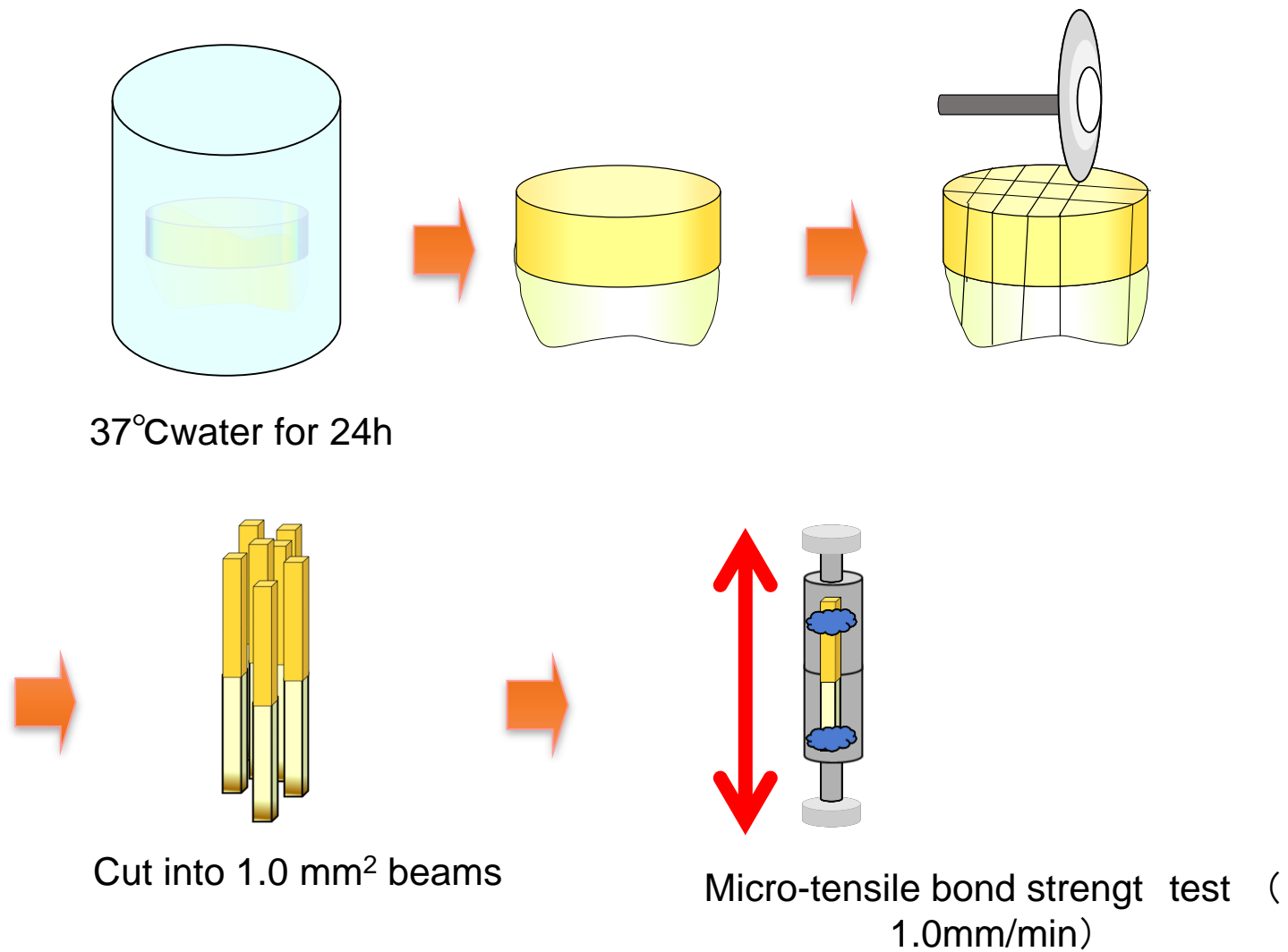


図1 微小引張り接着強さ試験の模式図 (続き)

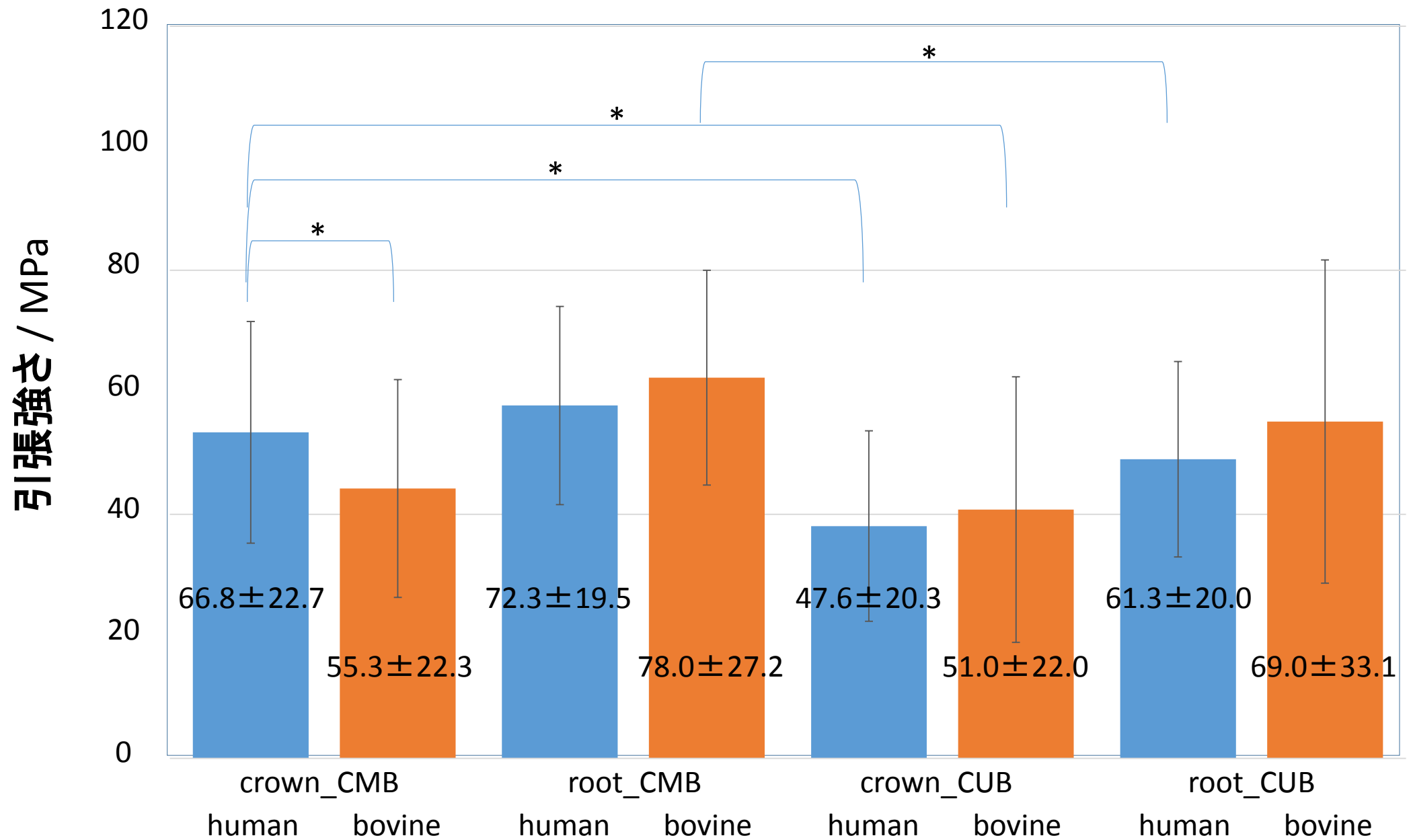


図2 微小引張り接着強さ試験結果

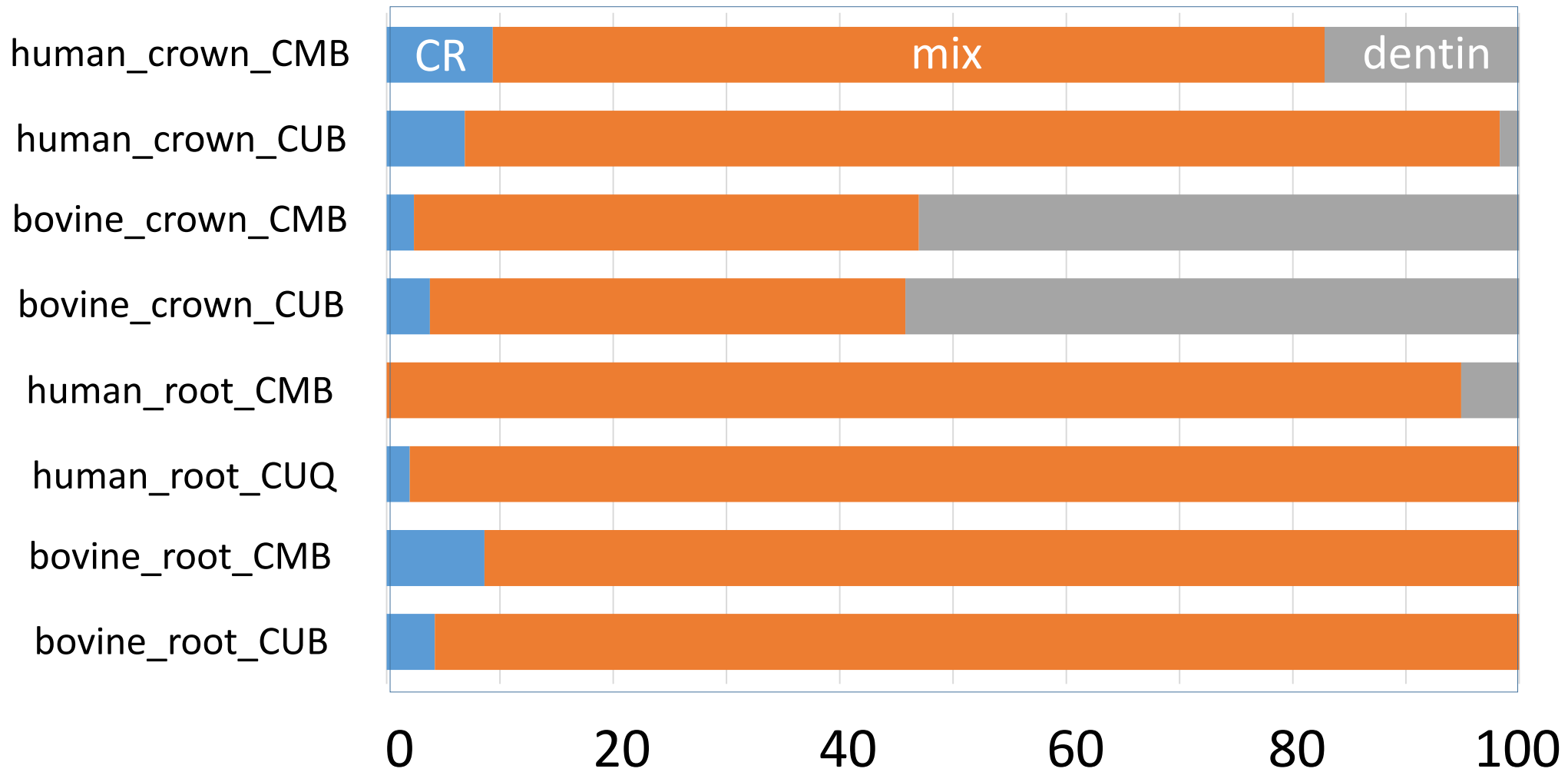
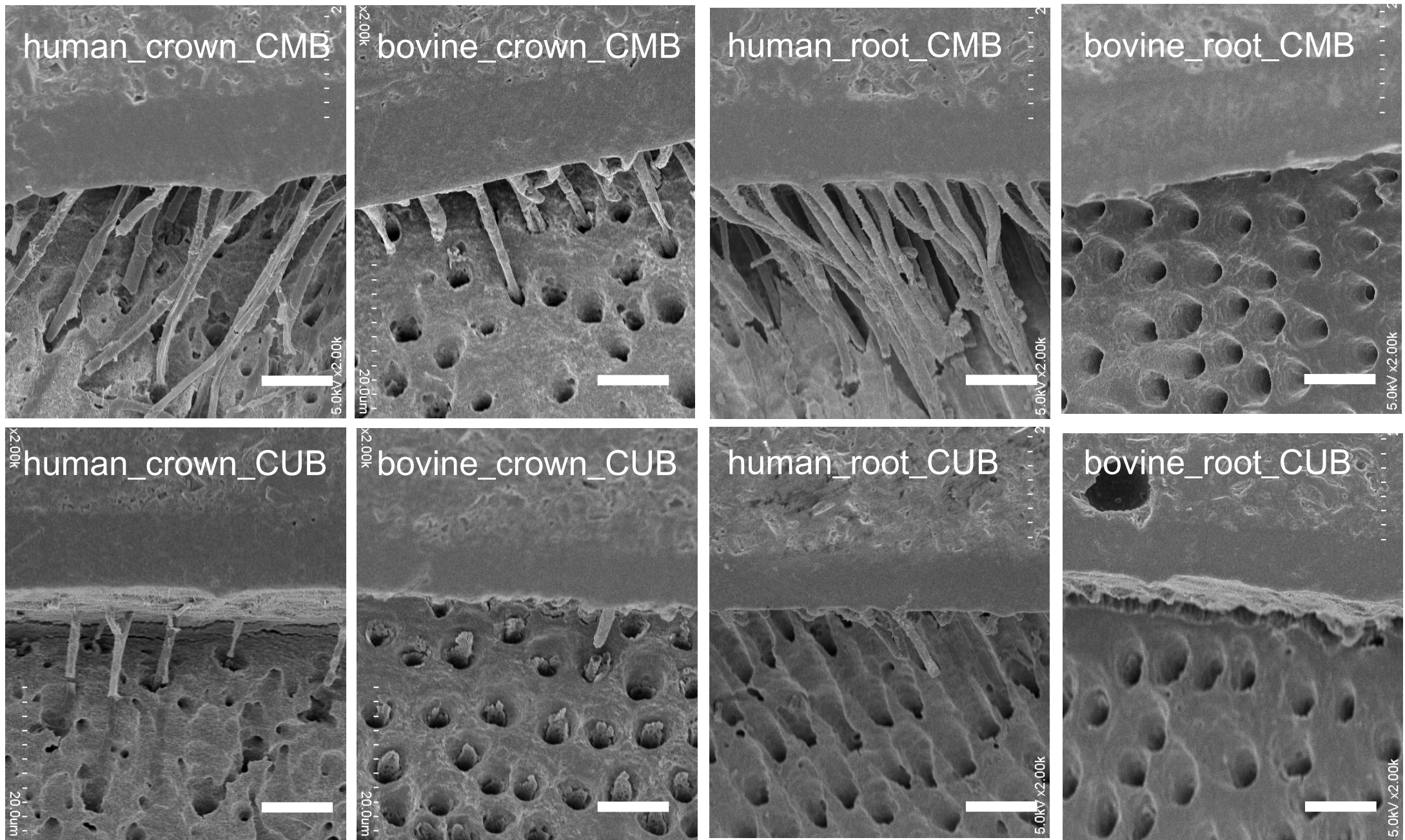


図3 引張り試験破断面の破壊様式



10 μm

図4 接着界面のSEM像

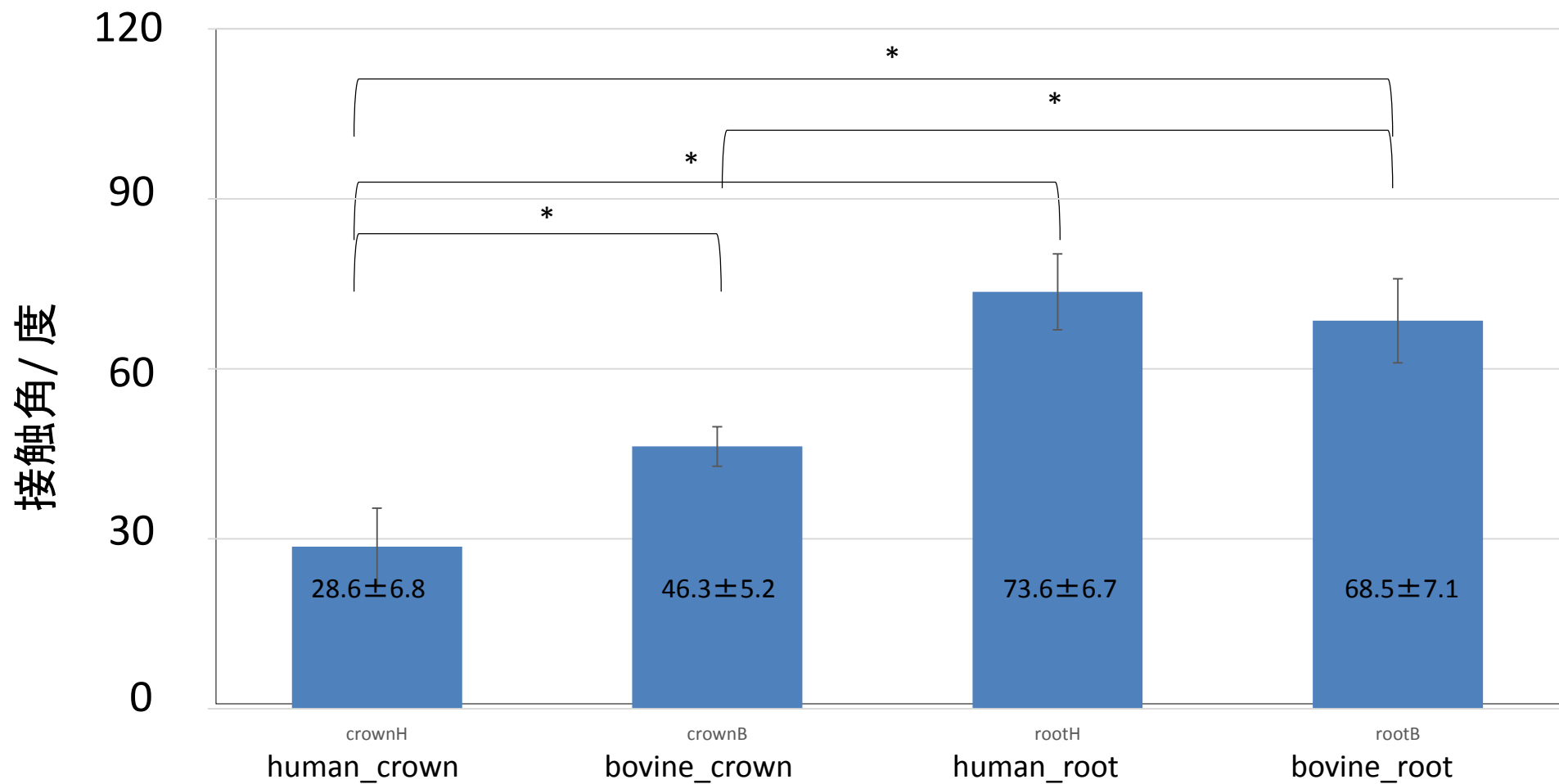


図5 歯質表面のぬれ性試験

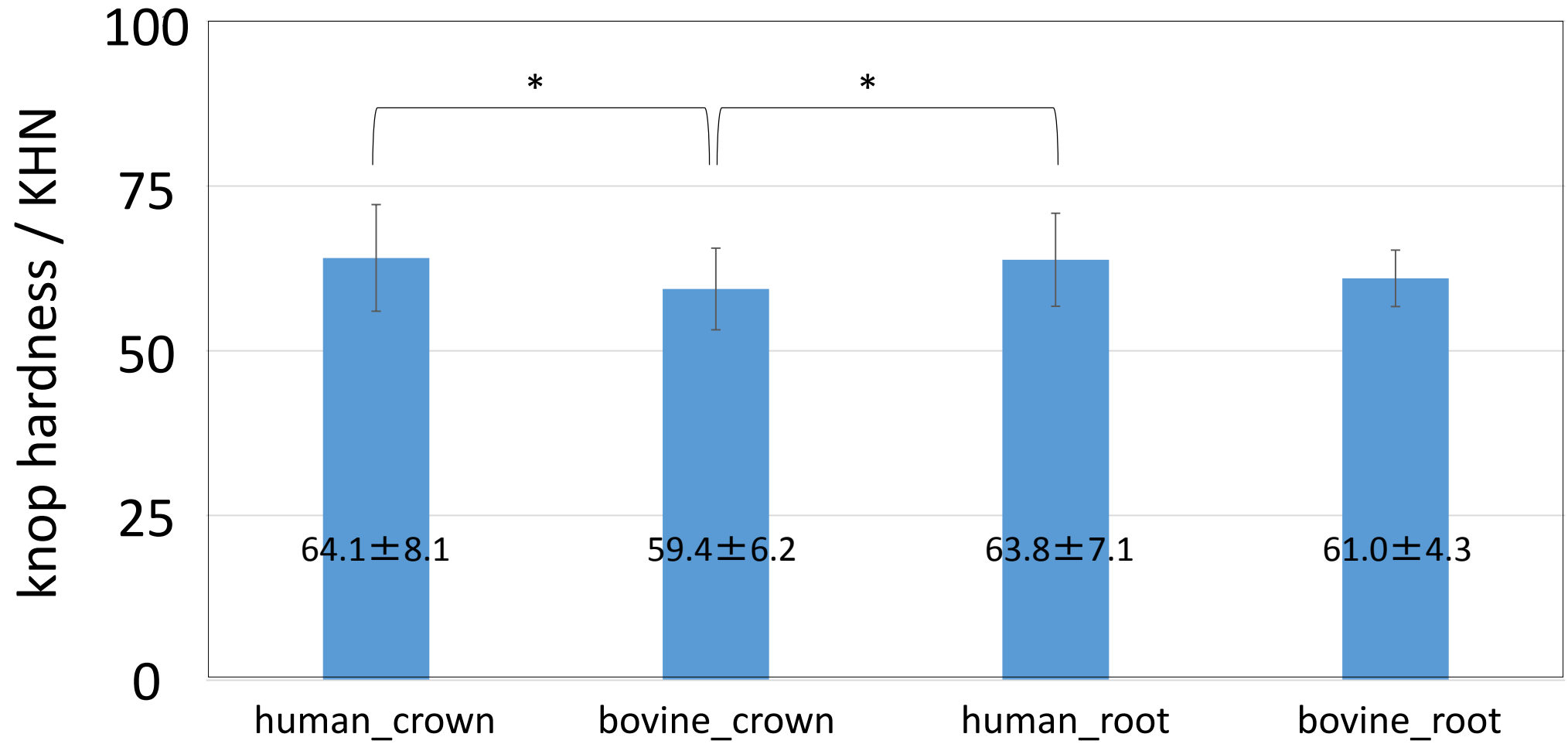


図6 歯質のヌープ硬さ試験結果

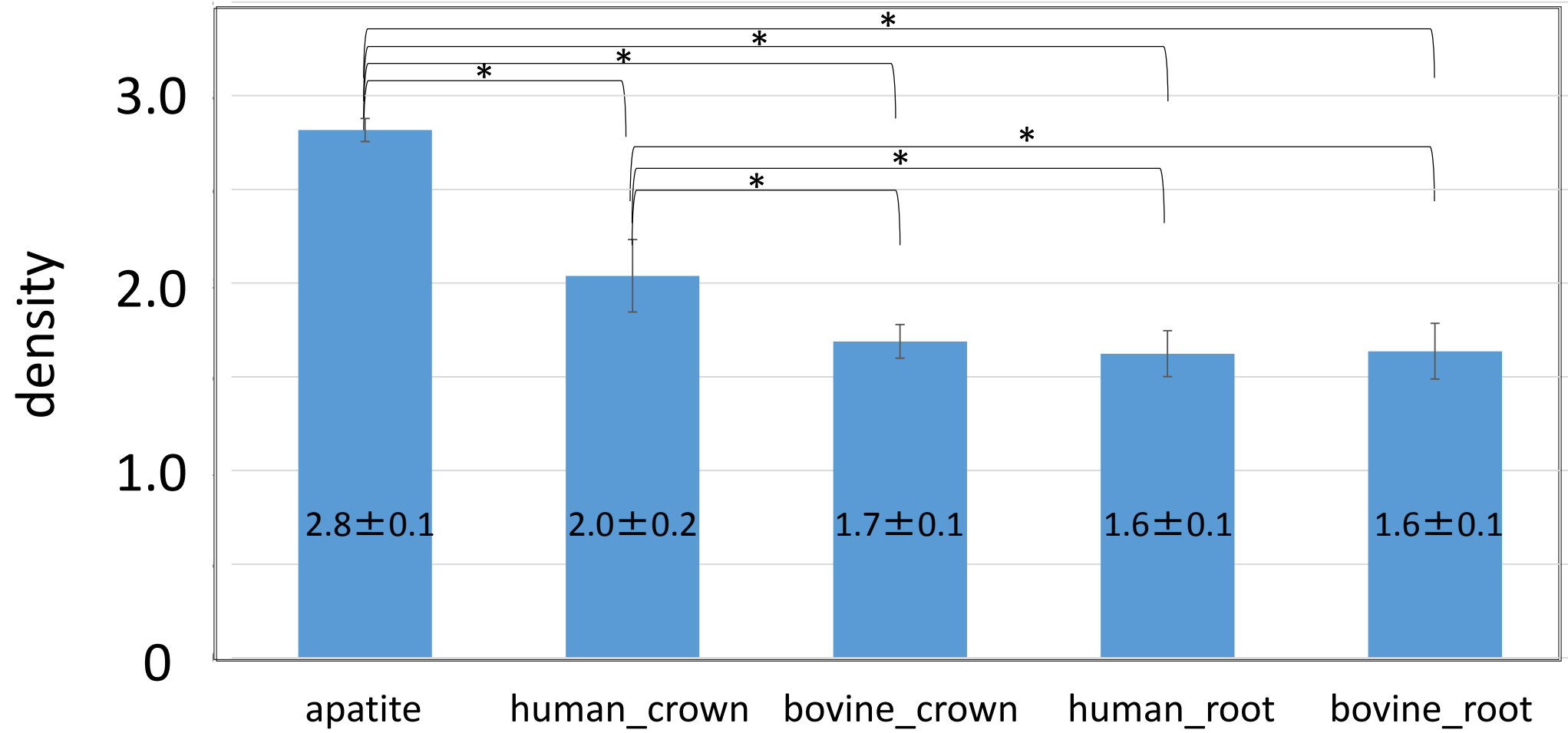


図7 歯質間の比重の比較