

令和 6 年 9 月 17 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03123

研究課題名（和文）ソフト/ハードマテリアル接着界面の解析と制御

研究課題名（英文）Analysis and control of interface between soft tissue and hard adhesive

研究代表者

岡田 正弘（Okada, Masahiro）

岡山大学・医歯薬学域・准教授

研究者番号：70416220

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者らこれまでに、医療材料として用いられている無機材料のアパタイトや金属材料のチタンに適切な表面処理を施すことで、これらの材料が生体軟組織などのハイドロゲルに瞬時に強く接着することを見出した。本研究課題では、これら医療材料の軟組織接着機能の制御を最終的な目標として、本接着メカニズムを理解するために化学的・物理的性質を変化させて作製した各材料の軟組織接着性を定量的に評価した。最終的に、接着と脱着をコントロール可能な新しい生体軟組織用デバイスを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、流動性のない固体状の外観でありながら被着体と接触させるだけで接着する新しい固体接着材を対象としたものである。本研究の実施によって、医療材料として用いられている無機材料や金属材料の生体軟組織接着性を制御するための指針を示すことができた。本研究成果は、体内固定の簡便化および安定化を備えたこれまでにない医療機器の実用化に繋がるものであり、大きな社会的意義をもつ。また、固体状態の材料と生体軟組織の接着現象に関する知見は少ないが、上記のように応用的にも重要な現象であるため、新しい研究領域を開拓する学術的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We recently reported that surface-treated apatite or titanium used as medical biomaterials adhered onto biological soft tissues immediately after the contact. In this research, in order to control the soft tissue adhesive properties of these medical materials, the soft tissue adhesiveness was quantitatively evaluated with these medical materials after changing the chemical and physical characteristics. We also developed a new biological soft tissue adhesive device with on-demand attachment and detachment properties.

研究分野：バイオマテリアル

キーワード：生体軟組織接着 固体接着材 アパタイト チタン

1. 研究開始当初の背景

流動性のない固体状の外観でありながら被着体と接触させるだけで接着する材料は「固体接着材」と呼ばれる。この固体接着材の具体的な例として、ヤモリ足裏にある趾下薄板の微細構造による分子間力に着想を得たヤモリテープが挙げられ、その他の接着機構として陰圧やアンカー効果等を利用した固体接着材も報告されている。これら固体接着材の素材のほとんどは有機系材料であり、有機系材料以外の素材としてこれまでに報告されたものは、金属酸化物（無機系材料）を素材とするナノ粒子のみであった。しかし、これまでに報告された金属酸化物ナノ粒子の生体組織に対する接着強さは非常に低く、より優れた接着性を示す材料の探索が必要である。さらに、ナノ粒子を水溶液等に分散させものを生体と接触させる場合、ナノ毒性の発現が懸念される。また、金属系材料を素材とした固体接着材はこれまでに報告されていない。

このような背景のもと著者らは最近、医療材料として既に臨床応用されている無機系材料の一つであるハイドロキシアパタイト（以下、アパタイト）や、同様に金属系材料として臨床応用されているチタンに適切な表面処理を施すことで、これらの材料が真皮などの軟組織に対して瞬時に（数秒間で）接着することを報告した。しかし、その接着メカニズムに関しては不明な点が多く残されていた。

2. 研究の目的

本研究課題では、アパタイトおよびチタンの軟組織接着性を制御することを最終的な目標として、本接着メカニズムを理解するために化学的・物理的性質を変化させて作製した各材料の軟組織接着性を定量的に評価した。

3. 研究の方法

無機系固体接着材としてのアパタイトは、湿式法によって合成した後、ナノ多孔質体とするために疎水性モールドにキャストしてプレート状に成形した。その後、所定の温度で焼成することで多孔質構造の変化を試みた。金属系固体接着材としてのチタンは、冷間圧延によって薄膜状のものを準備し、硫酸および塩酸からなる混酸を用いた酸処理によって表面を化学的に処理した。これらの無機系材料および金属系材料の表面性状について、化学的観点および物理的観点から評価した。具体的には、表面形態を電子顕微鏡観察および表面粗さ計から評価した。また、X線回折法を用いて結晶構造を評価した。次に、実験動物から軟組織を採取して引張せん断接着試験（図1A）を行い、各材料の接着性を定量的に評価した。動物を用いた実験は、岡山大学動物実験規則（平成20年岡大規則第6号）に基づいて、岡山大学動物実験委員会に申請書を提出し、許可を受けた上で実施した（OKU-2020530）。

4. 研究成果

4-1. チタン合金

チタンは、耐食性、軽量、非磁性という特徴を持つ機械的特性に優れた金属系生体材料である。このような特性をもつチタンは、人工骨などの外科用インプラントとして硬組織中に固定した状態で使用されている。チタンは、硬組織だけではなく、例えばペースメーカーのジェネレーターケースなどとして軟組織中に固定した状態で使用される場合も多い。本研究で対象とするチタンとして、稠密六方晶（ α 相）からなる1種純チタン（以下、 α 型チタン）についてまず検討を行い、その後、体心立方晶（ β 相）が共存するTi-6Al-4V（以下、 α - β 型チタン合金）を用いて比較検討を行った。

チタンを軟組織中に長期間埋植すると線維性結合組織に被包化される場合があるが、この現象は細胞による結合組織形成が主体であるため数週間を要する。 α - β 型チタン合金の瞬時の軟組織接着性についてマウス真皮を用いて定量的に評価した結果、未処理の状態では瞬時の接着性をほとんど示さないことを確認した（図1B-a）。 α 型チタンの場合、塩酸および硫酸の混酸による酸処理後に乾燥させることで、数秒以内にマウス真皮と接着し、その接着強さは軟組織用フィブリン接着剤に比べても大きいことを確認した。同様の酸処理を α - β 型チタンに対して行ったところ、興味深いことに、同条件で処理した α 型チタン（図1B-x）と

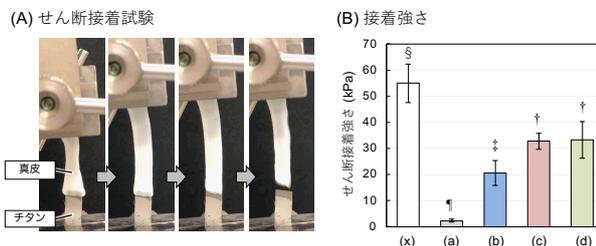


図1. (A) マウス真皮組織を用いた引張せん断接着試験中の連続写真。接着試験は、組織とサンプルを重ね合わせた直後に行なった。(B) 異なる時間で酸処理したチタンのマウス真皮組織に対するせん断接着強さ：(x) α 型チタン；(a-d) α - β 型チタン合金。酸処理時間：(a) 0分間；(b, x) 20分間；(b) 40分間；(d) 60分間。

比べて α - β 型チタン合金 (図 1B-b) の接着強さは有意に低く、同じ処理でも効果が異なることが示された。酸処理時間を延長してさらに検討したところ、酸処理時間が 40 分間まで接着強さは増加したが、プラトーに達することが確認された (図 1B-c,d)。この原因について明らかとするために、酸処理を行なった α - β 型チタン合金の表面性状について次に検討を行なった。

図 2 には、酸処理前後の α - β 型チタン合金の表面性状をまとめた。SEM 観察 (図 2A) から、未処理の表面は平滑で明確な粒界が観察され、BSE 観察から α 相と β 相の分布状態を確認した。酸処理を 20 分間行なった場合、 α 相の溶解によるサブミクロンサイズのパターンが観察され、60 分間の処理ではマイクロオーダーの孔食が観察された。表面粗さプロファイル (図 2B) から算術平均粗さ (Ra) を測定した結果、Ra 値は 20 分間の酸処理によって増加したが、40 分間では変化せず、60 分間では腐食孔の形成によって大きく増加した (図 2C)。これら Ra 値と接着強さに相関は認められなかったことから、単に表面積が接着に参与するのではなく、化学的な組成変化が接着に影響を与えることが示唆された。純水の静的接触角を測定した結果 (図 2D)、サンプル間に有意な差は認められず、また、酸処理した α - β 型チタン合金の接触角 ($73\sim 85^\circ$) は、 α 型チタンの接触角 ($91\sim 100^\circ$) よりも小さいことが確認された。このため、表面の化学組成に関する情報を得るために XRD 測定を行なったところ、 β 相に由来する 57.5° のピークが低角度側にシフトしたこと (図 3A) から水素吸収によって β 相の格子が拡大したものと考えられる。一方、 α 相に由来するピークが減少するとともに水素化チタンに由来するピークが酸処理 40 分まで増加することが確認され、水素化チタンの生成が接着に関与することが示唆された。ただし、 β 相の水素溶解度および拡散速度は α 相に比べて大きいことが報告されており、酸処理により生成した水素化チタンの水素化の程度は α 型チタンに比較して α - β 型チタン合金の方が小さく、その結果として軟組織接着性が低かったと考えられる。

以上の結果から、チタン表面における水素含有量を高めて酸化を防ぎ表面疎水性を高めることが軟組織接着性の向上に必要であることが示唆された。この仮説を検証するため、水素分圧を制御した雰囲気中で水素化チタンをコーティングする反応性スパッタリング法について検討を行い、モデル材料としてガラス基材に対してコーティングを行なった結果、水素含有量の高い疎水性水素化チタンをコーティングすることで、親水性を示すガラス基材や酸化チタンコーティング表面と比べて高い軟組織接着性を付与することに成功した。

4-2. アパタイト

アパタイトは、脊椎動物の硬組織の主成分であるリン酸カルシウム的一种であり、人工的に合成したアパタイトは骨結合性を示すため人工骨などとして臨床応用されている。さらに、アパタイトを軟組織中に長期間埋植した場合に周囲組織と結合することも知られているが、これらの結合現象は細胞による組織修復が主体であるため数週間を要する。研究代表者らは、ナノサイズの気孔をもつ多孔質体として成形したアパタイトが真皮組織に対して瞬時の接着性を示すことをこれまでに報告した。さらに、アパタイト以外のリン酸カルシウムであるリン酸八カルシウム (OCP) についても水和硬化反応を利用して多孔質体に成形することで瞬時の接着性を示すことを報告している。ここではアパタイトの多孔質構造を変化させて軟組織接着性に与える影響について詳細に検討を行った。

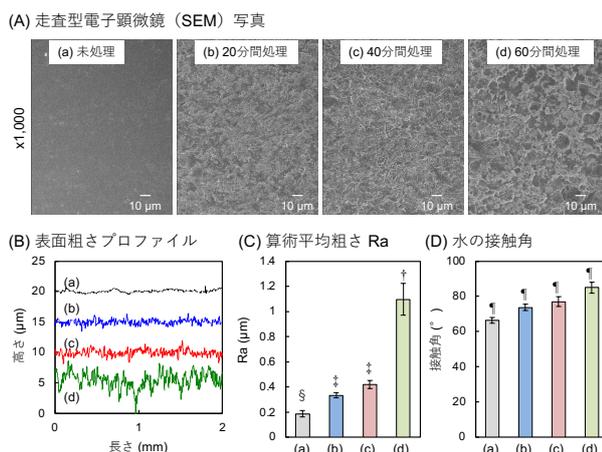


図 2. 異なる時間で酸処理した α - β 型チタン合金の (A) 走査型電子顕微鏡 SEM 写真、(B) 表面高さプロファイル、(C) 算術平均表面粗さ Ra、(D) 水接触角。酸処理時間：(a) 0 分間；(b) 20 分間；(c) 40 分間；(d) 60 分間。

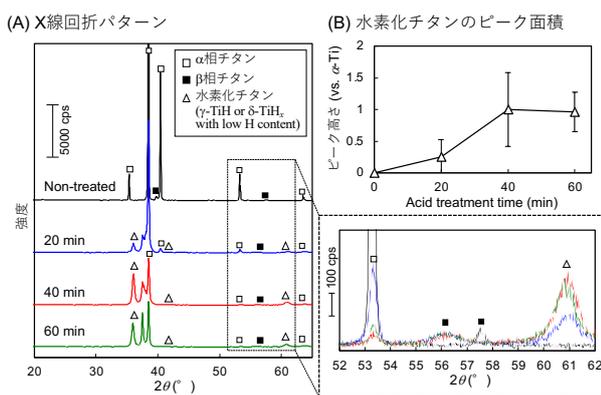


図 3. 異なる時間で酸処理した α - β 型チタン合金の (A) XRD パターンと (B) 水素化チタン由来ピークの高さ

アパタイトナノ粒子を原料として疎水性モールド上でキャスト成形することで、粒子隙間に由来するナノサイズの気孔を付与した後、多孔質構造を変化させるために焼成を行った (図 4A)。ここで、本研究では成形時にバインダーを使用しておらず、低温での焼成時に問題となるバインダーの残存について考慮する必要がないように設計した。一般に焼成温度の増加に伴って焼結が進行するが、アパタイトナノ粒子の集合体からなる多孔質体の場合では 800°C まで気孔率がほぼ一定のまま孔径が増加する現象が認められた (図 4B および 4C)。この現象は、出発原料として低結晶性アパタイトナノ粒子を用いたことから、焼成による結晶化の進行に伴ってナノ粒子が収縮し、周囲の気孔が拡大されたためと考えられる。さらに焼成温度を高くすると焼結によって粒成長することで気孔率および孔径は共に低下した (図 4B および 4C)。また、焼結の進行に伴って比表面積は単調に減少した (図 4D)。

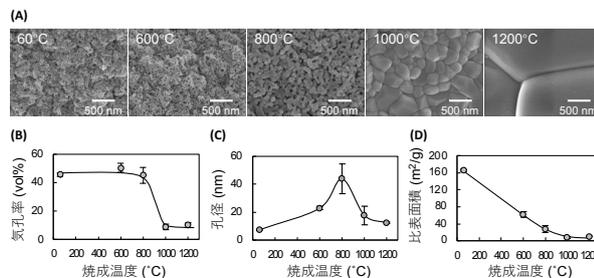


図 4. アパタイト多孔質体を所定の温度で焼成する前後の (A) SEM 写真、(B) 気孔率、(C) 孔径および (D) 比表面積

以上のように焼成条件によって多孔質構造を変化させたアパタイトを用いてマウス真皮組織に対する接着強さ (図 5A) を評価した結果、アパタイト気孔率 (図 4B) と接着強さ (図 5B) に相関が認められた。また、アパタイトを接着した状態で真皮の組織切片を作製してヘマトキシリン・エオジン (HE) 染色後に観察したところ、アパタイトに接触した組織表面にコラーゲンを主体とする組織が濃縮されていることが確認され (図 5C)、濃縮層の厚さと接着強さに相関する傾向が認められた (図 5D)。これらの結果から、組織中に含まれる水がアパタイトの孔内に吸水され、その吸水量が接着強さに関連することが示された。つまり、孔径である 40 nm 以上のサイズをもつ有機分子がアパタイトの表面に濃縮されることで、アパタイト表面と有機質との相互作用点が増加することが推測された。また、サブミリオオーダーの凹凸をもつ組織表面とアパタイトが吸水に伴ってマクロに接触したことも影響したものと考えられる。アパタイトと有機質の相互作用については、フーリエ変換型赤外分光分析による確認を行なった。

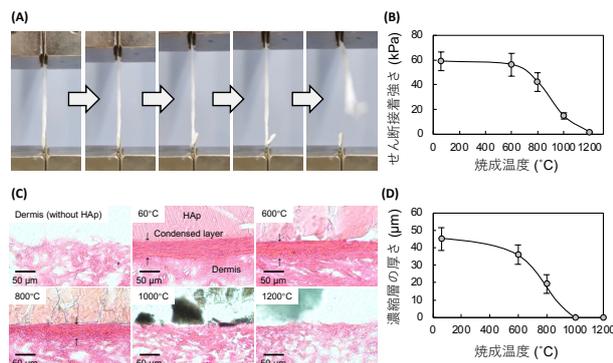


図 5. (A) マウス真皮組織を用いた引張せん断接着試験中の連続写真。(B) 異なる温度で焼成したアパタイトのマウス真皮組織に対するせん断接着強さ。アパタイトと接触した状態の真皮組織の (C) 組織切片と (D) 濃縮層の厚さ

次に、組織に含まれる水の量 (含水率) を変化させて検討を行った。含水率は、組織を生理食塩水に浸漬して過剰な含水率とした状態の組織を空气中で乾燥させることで変化させた (図 6A)。その結果、生理状態 (約 70%) よりも高い含水率 (約 80%) の場合では接着を示さず、含水率の低下に伴って接着強さが増加した。これは、過剰に含まれる水の量がアパタイトの気孔の体積を上回ったため、組織の濃縮が起こらなかったためと考えられる。また、生理状態よりも含水率が低い場合、含水率の低下に伴って接着強さも低下した。これは、組織中に含まれる水の移動度が低下したことが原因と考えられる。実際に、示差走査熱量計を用いて組織中の水の運動性を評価した結果、含水率の低下に伴って、運動性の高い自由水がまず減少し、その後中間水と結合水が順に減少することが明らかとなった。そこで次に、アパタイトを接着した状態の組織に水を添加することで

また、サブミリオオーダーの凹凸をもつ組織表面とアパタイトが吸水に伴ってマクロに接触したことも影響したものと考えられる。アパタイトと有機質の相互作用については、フーリエ変換型赤外分光分析による確認を行なった。

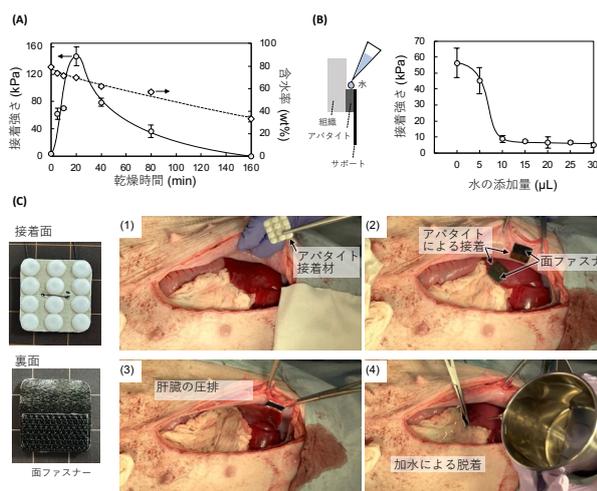


図 6. (A) 乾燥させたブタ真皮の含水率とアパタイト接着性の関係。(B) マウス真皮に接着したアパタイトに水を添加した後の接着強さ。(C) アパタイトを面ファスナーに固定したデバイスでブタ肝臓を圧排した後に加水によって脱離させた写真

接着強さが変化するか検証を行った。その結果、予想通りに水の添加によって接着強さが低下することを確認した(図 6B)。この結果は、軟組織に接着した状態のアパタイトを加水することで安全に脱離させることが可能となることを示すものである。

ところで腹腔鏡手術は、開腹手術に比べて、低侵襲であることから入院・回復期間が短く、また、手術部位感染などの周術期の合併症が少ないなどさまざまな利点がある。このため、腹腔鏡手術は生殖系および消化器系疾患の外科手術のゴールドスタンダードとなっている。しかし、腹腔鏡手術中に術野を露出させることは依然として困難な場合がある。例えば、上部消化管(GI)手術では、胃の小弯が肝臓左葉で覆われているため、肝臓を圧排する必要がある。この圧排方法として、機械的な把持、吊り下げ、ノッチ付き鉗子、細いスリング/チューブ、縫合などの方法が現在行われている。しかし、これらの機械的な方法には肝臓の損傷を引き起こす潜在的なリスクがある。このため、次世代の腹腔鏡手術を実現するためには、安全で簡便な臓器の圧排方法およびそれを実現するための圧排装置の開発が急務である。

機械的な圧排装置に変わるものとして、軟組織接着剤の利用が考えられる。つまり、接着によって点ではなく面で臓器を把持することで、圧排中における臓器への局所的な外力による損傷を軽減することが期待される。現在、軟組織接着剤としてシアノアクリレート、ゼラチン-レゾルシノール-ホルムアルデヒド/グルタルアルデヒド(GRFG)、フィブリンが臨床応用されている。しかし、シアノアクリレートと GRFG には組成あるいは分解生成物による炎症惹起の可能性がある。また、フィブリンには十分な接着強さが得られないという課題があり、臨床現場においてこれらの軟組織接着剤は臓器圧排には使用されていない。これまでに、疎水化ゼラチン、散逸性ハイドロゲルおよびイガイに着想を得たバイオミメティックグルーなどの新しい接着剤が報告され、生体親和性および十分な接着強さを持つ有機系接着剤が開発されている。しかし、これらの接着剤は接着強さが高いことが原因となり、腹腔鏡手術後に接着剤を強制的に剥離する際に臓器を損傷するという潜在的なリスクがある。したがって、接着強さを自在に(オンデマンドで)制御する新しい軟組織接着剤(材)の開発が求められている。

以上の背景のもと、アパタイト接着材を利用した接着性臓器圧排デバイスのプロトタイプを製作した(図 6C)。この装置は、ディスク状に成形したアパタイト接着材を面ファスナーの背面に固定したものである。このデバイスを用いたブタ肝臓の圧排方法を検討した結果、肝臓および腹膜にそれぞれデバイスを接着した(図 6C-1,2)後に面ファスナーを介して肝臓を腹膜側に圧排することが可能であることを確認した(図 6C-3)。開発した接着性臓器圧排デバイスを用いることで、局所的な圧迫による臓器損傷のリスクが低減されることが期待される。また、過剰の生理食塩水を添加することで、術後に不要となるデバイスを安全に除去可能であることを確認することができた(図 6C-4)。

4-3. まとめ

本研究の遂行によって、化学的・物理的性質を変化させて作製したアパタイトおよびチタンの軟組織接着性を定量的に評価することで、無機系および金属系固体接着材の軟組織接着メカニズムを理解するために重要な知見を得ることができた。具体的な本研究の成果として、各材料の軟組織接着性を制御するための指針を示すことができた。特に、アパタイト多孔質体を用いた固体接着材では、接着強さをオンデマンドで変化させるための方法を示した。

本研究成果の応用例の一つとして、次世代腹腔鏡手術のための接着性臓器圧排デバイスのプロトタイプを製作した。本デバイスは臓器圧排のために十分な接着性を示しながら、術後には安全に除去するために接着強さを低下することができる新しい医療機器である。本研究の遂行によって得られた成果は、接着性臓器圧排デバイスという新しい医療機器の創出に繋がるだけでなく、予防・治療・診断を目的にしたさまざまな体内埋込型デバイスの安全な体内固定方法への応用も期待できるものである。例えば、電子タグやバイオセンサ等を含む体内植込型デバイスを目的の組織中に安定に固定することは、デバイス関連合併症(感染症や埋植位置からの移動などの不具合)を防止するために必須であることが指摘されており、これを実現するための基盤技術としても本研究の成果は重要である。これらの体内埋込型デバイスは縫合糸やスクリューによって物理的に体内固定され、用途によっては固定操作もされていないのが現状である。体内植込型医療機器の素材として実績のある材料を用いた固体接着材を開発するために重要な指針を示した本研究成果は、直接的にデバイスを軟組織と接着できる材料を創出することにつながることから、簡便かつ緊密に固定可能な自己接着型デバイスの創出も期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Okada Masahiro, Matsumoto Takuya	4. 巻 59
2. 論文標題 Solid-state inorganic and metallic adhesives for soft biological tissues	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Dental Science Review	6. 最初と最後の頁 439 ~ 445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jdsr.2023.11.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Aoyagi Haruyuki, Okada Masahiro, Yanagimoto Hiroaki, Matsumoto Takuya	4. 巻 40
2. 論文標題 Investigation on bacterial capture and antibacterial properties of acid-treated Ti surface	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 318 ~ 326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2023.11.018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okada Masahiro, Xie Shi Chao, Kobayashi Yusuke, Yanagimoto Hiroaki, Tsugawa Daisuke, Tanaka Masaru, Nakano Takayoshi, Fukumoto Takumi, Matsumoto Takuya	4. 巻 in press
2. 論文標題 Water Mediated on Demand Detachable Solid State Adhesive of Porous Hydroxyapatite for Internal Organ Retractions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Healthcare Materials	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adhm.202304616	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Suzuki Mika, Kimura Tsuyoshi, Nakano Yuta, Kobayashi Mako, Okada Masahiro, Matsumoto Takuya, Nakamura Naoko, Hashimoto Yoshihide, Kishida Akio	4. 巻 111
2. 論文標題 Preparation of mineralized pericardium by alternative soaking for soft/hard interregional tissue application	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Materials Research Part A	6. 最初と最後の頁 198 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbm.a.37445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okada Masahiro, Matsumoto Takuya	4. 巻 61
2. 論文標題 Self-adhesive Devices Made of Titanium for Biological Soft Tissue	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 760 ~ 764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡田 正弘	4. 巻 48
2. 論文標題 生体軟組織用の無機系固体接着材	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Colloid & Interface Communications	6. 最初と最後の頁 20 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.57534/cicommun.48.1_20	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yabe Atsushi, Okada Masahiro, Hara Emilio Satoshi, Torii Yasuhiro, Matsumoto Takuya	4. 巻 211
2. 論文標題 Self-adhering implantable device of titanium: Enhanced soft-tissue adhesion by sandblast pretreatment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces B: Biointerfaces	6. 最初と最後の頁 112283 ~ 112283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfb.2021.112283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Yaming, Okada Masahiro, Xie Shi Chao, Jiao Yu Yang, Hara Emilio Satoshi, Yanagimoto Hiroaki, Fukumoto Takumi, Matsumoto Takuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Immediate soft-tissue adhesion and the mechanical properties of the Ti-6Al-4V alloy after long-term acid treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 8348 ~ 8354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1tb00919b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 謝 世超, 岡田正弘, 松本卓也
2. 発表標題 軟組織接着性アパタイトを二次元アレイ状に配置した新規接着器材の開発
3. 学会等名 第80回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田正弘
2. 発表標題 無機微粒子の合成の基礎
3. 学会等名 2023年度 関西支部 基礎セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Okada M, Xie SC, Matsumoto T
2. 発表標題 Effect of porous structure of hydroxyapatite on immediate adhesion onto biological soft tissues
3. 学会等名 Biomaterials International 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Bikharudin A, Okada M, Matsumoto T
2. 発表標題 Effect of particle size of various inorganic milled particles on protein adsorption
3. 学会等名 Biomaterials International 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田正弘, 謝 世超, 松本卓也
2. 発表標題 オンデマンドで脱着可能な軟組織用固体接着材の開発
3. 学会等名 第45回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 青柳陽之, 岡田正弘, 松本卓也
2. 発表標題 酸処理チタンの抗菌性とその応用
3. 学会等名 第45回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Xie SC, Okada M, Kobayashi Y, Matsumoto T
2. 発表標題 On-demand detachable hydroxyapatite adhesive for biological soft tissues
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田正弘
2. 発表標題 歯科系接着技術の現状と今後の展望
3. 学会等名 次世代接着材料研究会¥第7回例会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田正弘, 謝 世超, 松本卓也
2. 発表標題 酸処理チタンメッシュの軟組織接着性に与えるメッシュ径の影響
3. 学会等名 第79回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xie SC, Okada M, Wang A, Matsumoto T
2. 発表標題 Immediate soft tissue adhesion of hydroxyapatite: effect of surface microstructure
3. 学会等名 The 100th General Session of the IADR/APR (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang Y, Xie SC, Okada M, Matsumoto T
2. 発表標題 Surface characteristics of Ti-6Al-4V adhesive
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022 (IDMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okada M, Xie SC, Matsumoto T
2. 発表標題 Immediate soft tissue adhesion and mechanical property of acid-treated titanium wire mesh
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022 (IDMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田正弘, 謝 世超, 松本卓也
2. 発表標題 アパタイトの軟組織接着性に及ぼす含水率の影響
3. 学会等名 第44回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bikharudin A, Okada M, Matsumoto T
2. 発表標題 Effect of Particle Size of Various Inorganics on Protein Adsorption
3. 学会等名 第44回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田正弘
2. 発表標題 軟組織に瞬間接着するチタン製固体接着材の開発と応用展開
3. 学会等名 第4回OUSフロンティアセミナー(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wang Y, Okada M, Hara ES, Matsumoto T
2. 発表標題 Re-evaluation of Early Biomolecule Adsorption and Initial Osseointegration by an Engineering Perspective
3. 学会等名 2022 Joint Symposium SFB+JSB (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okada M, Yabe A, Xie SC, Hara ES, Matsumoto T
2. 発表標題 Immediate soft-tissue adhesive titanium: The effect of surface porosity
3. 学会等名 2022 Joint Symposium SFB+JSB (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林優右, 岡田正弘, ハラエミリオサトシ, 田中 賢, 松本卓也
2. 発表標題 軟組織接着向上に向けた粘膜組織水和相の理解
3. 学会等名 第43回日本バイオマテリアル学会大会 & 第8回アジアバイオマテリアル学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 謝世超, 岡田正弘, 王亜明, 松本卓也
2. 発表標題 ハイドロキシアパタイトの多孔質構造が軟組織接着性に与える影響
3. 学会等名 第43回日本バイオマテリアル学会大会 & 第8回アジアバイオマテリアル学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢部淳, 岡田正弘, 武田宏明, Hara ES, 烏井康弘, 松本卓也
2. 発表標題 酸処理チタンの軟組織接着性を増強するサンドブラスト処理の最適化
3. 学会等名 第78回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahashi A, Okada M, Kobayashi Y, Wang Y, Matsumoto T
2. 発表標題 Observation of minute-time interaction between biomolecular solution and material surface
3. 学会等名 The 99th General Session of the IADR (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢部淳, 岡田正弘, 武田宏明, Hara ES, 鳥井康弘, 松本卓也
2. 発表標題 サンドブラスト処理による酸処理チタンの軟組織接着性の増強
3. 学会等名 第 77 回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 生体軟組織用接着材の製造方法、生体内埋入型センサの製造方法、生体軟組織変形補助材の製造方法、生体軟組織穿孔封鎖材の製造方法および生体軟組織補強材の製造方法	発明者 松本卓也、岡田正弘、柳下勇	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、7333553	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柴田 陽 (Shibata Yo) (30327936)	昭和大学・歯学部・教授 (32622)	
研究分担者	松本 卓也 (Matsumoto Takuya) (40324793)	岡山大学・医歯薬学域・教授 (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	ハラ エミリオ・サトシ (Hara Emilio Satoshi) (40779443)	岡山大学・医歯薬学域・研究准教授 (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関