



大阪科学・大学記者クラブ 御中  
(同時提供先：文部科学記者会、科学記者会)

2024年9月20日  
大阪公立大学

## プラズマ照射で腱骨連結部の治癒を早め強度を向上 - 医工連携で挑む次世代型再生医療 -

### <ポイント>

- ◇腱板断裂<sup>\*1</sup>モデルをウサギで作製し、プラズマを腱骨連結部の修復部に直接照射。
- ◇プラズマ照射による腱骨連結部の治療を、生体力学的・組織学的観点から多角的に評価。

### <概要>

腱骨連結部は腱と骨をつなぐ部位のことで、サッカー選手によくみられる膝の前十字靭帯損傷や、メジャーリーガー投手の手術で話題の肘の内側側副靭帯損傷などは、この腱骨連結部で生じます。また、腱骨連結部の代表的な損傷である肩腱板断裂は、日本の50歳以上の約4人に1人が罹患し、手術を受けても約20%の再断裂が起きるといふ報告もあります。

大阪公立大学大学院医学研究科整形外科学の中澤 克優大学院生（大阪市立大学大学院医学研究科 博士課程4年）、豊田 宏光准教授、中村 博亮教授、同大学院工学研究科 医工・生命工学教育研究センターの呉 準席教授らの共同研究グループは、腱骨連結部損傷の修復を促進する治療法として、低温大気圧プラズマに注目。腱板断裂ウサギモデルを作製し、低温大気圧プラズマを生体に直接照射しました。その結果、プラズマ照射した群は、照射していない群（コントロール群）と比べて腱骨連結部の治癒が早まり、強度が向上していることが確認できました。現在行われている腱板の治療と組み合わせることで、より確実な腱骨連結部の修復や治療期間短縮への貢献が期待できます。

本研究成果は、国際科学誌「Journal of shoulder and elbow surgery」に2024年9月17日にオンライン掲載されました。

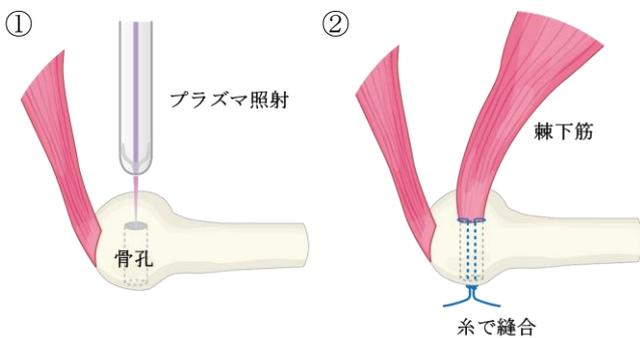


図1：ウサギ腱板断裂モデルへの低温大気圧プラズマ照射  
①筋肉（腱板）が元々付いていた部分に骨孔を作成し、ペンシルタイプの装置により低温大気圧プラズマを照射。  
②腱板（棘下筋）を縫合糸で縫合。

スポーツ選手に多い靭帯損傷や中高年に多い肩腱板断裂は、手術がうまくいっても術後のリハビリに時間がかかってしまいます。まだ動物実験のレベルですが、低温大気圧プラズマを活用した治療法がこの問題を解決することにつながれば、多くの患者さんにとって希望ある選択肢になると期待しています。



豊田 准教授



中澤 大学院生



呉 教授

## <研究の背景>

膝や肘の靭帯損傷の治療において損傷した靭帯の縫合が困難な場合は、損傷した腱や靭帯をいったん切除し、患者の別の部分の正常な腱の一部を移植する手術（靭帯再建術、トミー・ジョン手術等）を行います。非常に良い手術方法ですが、縫合した腱や移植した腱が定着するまでに時間がかかるため長期的なリハビリが必要です。また、腱板断裂の場合、早期の断裂を予防するために 4～8 週間程度、装具固定をして修復部を安静にする必要があります。さらに、腱板修復後の再断裂率は約 20%と高いことも分かっています。これは、修復部が正常組織より強度の弱い癒痕組織<sup>\*2</sup>によって修復することが原因と考えられています。

プラズマは、固体、液体、気体のどれでもない物質の第 4 の状態であり、気体に高エネルギーを加えた際に原子から電子が離れ、イオンと電子が混在している状態です。低温大気圧プラズマの応用としては、物質への照射により殺菌、洗浄を行うことが知られています。さらに、近年生体組織にも応用され、有用性が数多く報告されています。

本研究グループはプラズマ技術を取り入れた下記の研究を過去に発表しており、骨と腱をつなぐ腱骨連結部にプラズマを照射すれば、修復が早まり強度が高まるのではないかと考えました。

- ・ウサギ尺骨欠損モデルに低温大気圧プラズマを照射すると新たな骨が再生  
(参考：[2021年10月18日配信プレスリリース](#))
- ・難治性骨折ラットモデルにおいてプラズマを骨折部に直接照射すると骨癒合が促進  
(参考：[2024年4月17日配信プレスリリース](#))
- ・腱治療においてアキレス腱断裂部に低温大気圧プラズマを照射すると修復が促進  
(参考：[2024年5月21日配信プレスリリース](#))

## <研究の内容>

本研究グループは、生体に直接照射ができる持ち運びが可能なペンシルタイプの低温大気圧プラズマ照射装置を開発。ウサギの腱板断裂モデルの筋肉（腱板）が元々付いていた部分に骨孔を作成し、損傷部位にプラズマ照射した後に腱板を糸で縫合することで治癒がどのように変化するのかを調べました（図 1）。5 分間プラズマを照射した群（プラズマ照射群）と、照射しない群（コントロール群）を作成し、組織学的、力学強度的な違いを比較検討した結果、プラズマ照射群では術後 4 週と 8 週において、正常の腱骨連結部の状態に近い組織配列であることが分かりました（図 2）。さらにコントロール群に比べて、多くの骨組織ができていることが判明しました。また、力学試験では術後 8 週においてプラズマ照射群の最大破断強度（腱と骨が破断するまでの力）が有意に高く、正常な腱板の最大破断強度に近い値であることが判明しました。（図 3）。以上のことから、腱骨連結部の修復においてプラズマを照射することで、組織学的な質と力学的強度が向上することが分かりました。

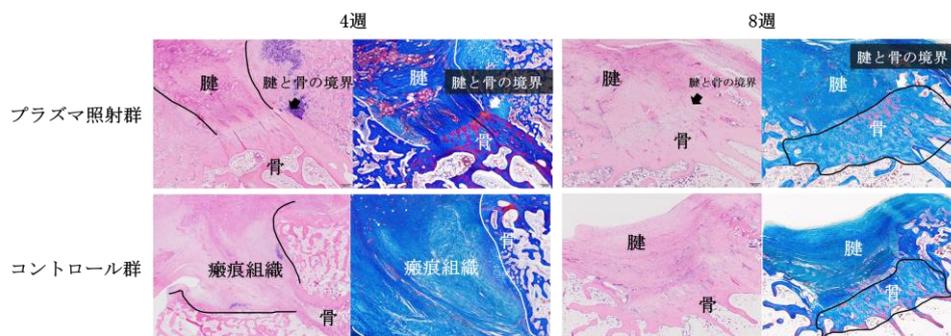


図 2：組織画像

術後 4 週においてプラズマ照射群では腱と骨の境界が分かるが、コントロール群では主に癒痕組織により治癒しているので境界が分かりにくい。術後 8 週では、コントロール群も腱と骨の境界が見えるようになったが、プラズマ照射群ではより多くの骨組織ができていることが分かった。

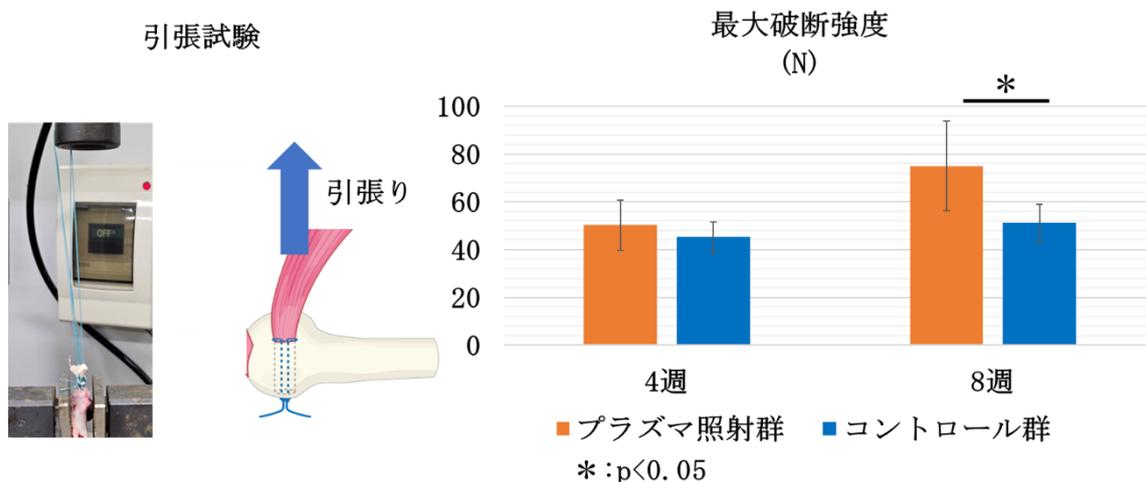


図3：力学試験の結果

プラズマ照射群は術後8週において有意に最大破断強度が高いことが判明。また、術後8週の最大破断強度は正常な腱板に近い値を示した。(正常な腱板の最大破断強度は85.2N)

### <期待される効果・今後の展開>

今回の動物実験で示された低温大気圧プラズマの腱骨連結部の修復向上効果を、臨床の現場に応用できるようになれば、現在行われている腱板の治療と組み合わせることで、より確実な腱板修復や再断裂率の低下に貢献できる可能性があります。

さらに、スポーツ選手の怪我の手術に導入することで復帰が早くなり、パフォーマンスが向上することが期待できます。

### <用語解説>

※1 腱板断裂：上腕の骨と肩甲骨をつなぐ腱が切れてしまい、肩の痛みや筋力の低下を引き起こす疾患のこと。

※2 癒痕組織：組織が傷つき、治る際にできる結合組織のことで、正常組織とは異なる。一時的にできる場合が多いが、慢性的になる場合もある。皮膚のケロイドが代表例。

### <掲載誌情報>

【発表雑誌】 Journal of shoulder and elbow surgery

【論文名】 Non-thermal atmospheric pressure gas discharge plasma enhances tendon-to-bone junction repair in a rabbit model

【著者】 Katsumasa Nakazawa, Hiromitsu Toyoda, Tomoya Manaka, Kumi Orita, Yoshihiro Hirakawa, Yoichi Ito, Kosuke Saito, Ryosuke Iio, Yoshitaka Ban, Hana Yao, Yuto Kobayashi, Jun-Seok Oh, Tatsuru Shirafuji, Hiroaki Nakamura

【掲載URL】 <https://doi.org/10.1016/j.jse.2024.07.039>

#### 【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院 医学研究科  
准教授：豊田 宏光 (とよだ ひろみつ)  
TEL：06-6645-3851  
E-mail：h-toyoda@omu.ac.jp

#### 【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課  
担当：谷  
TEL：06-6605-3411  
E-mail：koho-list@ml.omu.ac.jp