

学位論文

冷凍保存した側頭筋膜に対する物理学的小よび化学的变化の検討

樽本 俊介

山口大学大学院医学系研究科

情報解析医学系専攻 耳鼻咽喉科学分野

(令和2年1月)

目次

1. 要旨	3
2. 研究の背景	4
3. 目的	7
4. 実験材料と方法	8
5. 結果	11
6. 考察	12
7. 結語	15
8. 参考文献	16
9. 図表	20
10. 図表の説明	24

1. 要旨

目的：側頭筋膜は、鼓膜形成術や鼓室形成術で広く使用されている。その手術で鼓膜穿孔の再建材料として使用された側頭筋膜は残存した場合には冷凍保存を行い、冷凍保存された筋膜は次回の耳科手術時にも使用されている。しかし、冷凍保存した側頭筋膜の状態の評価はこれまで行われていない。この研究では、物理的・化学的・病理学的特性について新鮮側頭筋膜と冷凍保存した側頭筋膜を比較し評価するため実験を計画した。

方法：この研究では、2007年1月から2012年12月までに山口大学医学部附属病院耳鼻咽喉科で耳科手術を受けた患者21人の保存された側頭筋膜を使用した。側頭筋の厚さを3Dレーザー顕微鏡で測定し、引張試験機を用いて引張強度を評価した。さらに、化学的特性はBAPテストを用いて側頭筋の生物学的抗酸化能を測定した。また、側頭筋はHE染色し、病理学的にも評価を施行した。

結果：側頭筋の引張強度が冷凍保存期間に影響を受けないことを示した。厚い筋は、引張強度が低い傾向にあった。引張強度は若年および高齢の側頭筋と比較した場合、中年の患者の側頭筋で最も高かった。抗酸化能は冷凍保存に影響を受けず、病理学的構造も有意な変化は認められなかった。

結論：冷凍保存された側頭筋は、鼓膜形成術や鼓室形成術に安全に使用できることが示唆された。

2. 研究の背景

耳鼻咽喉科領域の耳科学分野において慢性中耳炎や真珠腫性中耳炎に対する外科的治療として鼓膜形成術や鼓室形成術が行われている。その手術の際、鼓膜穿孔を閉鎖するために使用される再建材料としてこれまでさまざまな材料が使用されてきた。鼓膜再建材料として用いられる組織には自家組織、同種組織、異種組織の3種類がある。異種組織としては豚の膀胱膜、羊の腸膜などが鼓膜閉鎖に用いられた報告があるが、異種移植には免疫学的な問題が指摘されている。森満らは形成材料自体が小さいため graft vs. host disease に関して影響を与える可能性は低い、host vs. graft disease に関しては移植した形成材料が除去される可能性は考慮する必要があると報告している[1]。そこで同種移植が考慮された。同種移植については羊膜や角膜・静脈・心外膜・鼓膜などが用いられてきた。その中でも鼓膜を用いた報告例は多く、1959年に Betow が鼓膜の同種移植を試み、1969年に報告し[2]、また、Chalet も同様に1960年に Chalet は慢性中耳炎3症例に対して living graft を使用し、鼓膜穿孔閉鎖術を試みた。その結果2例は移植した鼓膜が生着せず、もう1例も後の経過中に小穿孔を認めた。その成績について1964年に報告した。[3]。このように鼓膜穿孔の閉鎖のためには鼓膜自体を移植することが同種移植で最も頻繁に行われていた。その後も、鼓膜の同種移植が施行されてきたが、living graft では拒絶反応が生じる可能性もあり、形成材料としての living graft は定着しなかった。移植の際の拒絶反応が考慮されたため鼓膜の living homograft から dead homograft へと変化していった。1966年に Marquet は dead homograft を用いており、cialit 処理で保存し始めた[4]。その保存液の濃度や温度を管理することで、鼓膜の dead homograft の移植手術を施行し、良好な成績を得た[4]。鼓膜の dead graft を myringoplasty に用い、17例(8歳~67歳)中15例が生着し、1例が脱落、1例は小穿孔を認め

たと報告したが、その後の報告では、症例を重ね 283 例の使用に対して 223 例で生着し、約 80%の成功率を得ている[6]. その方法を用いることで世界中で 1974 年までの約 10 年間に世界中で約 3000 例におよぶ鼓膜移植術が施行された[5]. 鼓膜(線維性鼓膜輪を含める)の homograft が鼓膜の形成材料として、臨床的に有用であり、積極的に試みられていた. しかし鼓膜の homograft の欠点として側頭筋膜 graft と比較して、採取や保存などの問題があることや拒絶反応を生じることなく生着する可能性が高いが、その生着率では側頭筋膜 graft の 95%以上には劣っていたことが挙げられる. また、同種移植の欠点として BSE や AIDS, 肝炎などのウイルス感染も考慮する必要がある[7]. Tange が報告したクロイツフェルトヤコブ病は致死的なウイルス感染症である. 鼓膜再建材料として人の保存心外膜を使用した 4 年後にクロイツフェルトヤコブ病を発症し死亡したと報告している[8]. 同種移植の場合、死因や生前の詳細な病歴、免疫学的検査結果など検査結果を調査して donor としての適合性を判断する必要がある. 提供された移植組織の種類に登録に加え、被移植患者の術後の長期的な経過観察など公的機関での厳重な管理が必要である. そして、同種移植に関する公的機関での管理システムの完備、ウイルス除去のための滅菌操作、抗原除去のための操作や保存法などの経済的負担は非常に大きい[1]. そのような経緯があり、現在では同種移植ではなく自家移植が行われている. 鼓室形成術に使用される再建材料の望ましい特性は、生着しやすいこと、抵抗力が強く穿孔しにくいこと、薄く可動性が良好であることなどがあげられる. さらに、再建材料は採取および形成が容易でなければならない[9]. したがって、これらの機能を提供する側頭筋膜は、鼓室形成術で広く使用され、好ましい術後転帰を提供する[10, 11]. 慢性中耳炎や真珠腫性中耳炎に対する耳科手術の成績についてこれまで数多く報告されている. 慢性中耳炎術後、再穿孔を引き起こす可能性について橋本ら

の報告では症例全体の鼓膜穿孔閉鎖率は術後6 ヶ月で88%であり、その他の報告と同様に良好な成績を示している[12-14]。しかし、術後12 ヶ月の鼓膜穿孔閉鎖率は77%と術後6 ヶ月時の成績と比較し低い結果であった[15]。また、鈴木らは鼓膜形成術を施行した際の鼓膜穿孔閉鎖率は概ね80~90%と報告し[16]その他の施設で報告されている成績より比較的高いが[15, 17-20]、残りの10~20%の症例は術後再穿孔を生じていることとなる。また、真珠腫性中耳炎の再発率について伊藤らの報告では術後12 ヶ月以上観察できた92 耳において明らかな再発は6 耳であった。したがって、観察期間は短いが現時点での術後再発率は6.5%である[21]。このように術後再穿孔を来した慢性中耳炎や再発した真珠腫性中耳炎に対しては再手術が必要であり、再び側頭筋膜が必要となる。側頭筋膜には量に限りがあることや健側への手術侵襲の回避のため、前回手術時に余剰となった側頭筋膜を冷凍保存している。そして、冷凍した自己側頭筋膜を使用して、慢性中耳炎または真珠腫の再発の場合の再穿孔を防止できることが報告されている[22]。しかし、側頭筋膜に対する冷凍保存の影響はこれまで評価されていない。

3. 目的

本研究では、冷凍保存された側頭筋膜の物理的特性、化学的特性および病理学的特性の変化について検討した。物理的特性については側頭筋膜の引張強度を測定し、化学的特性については BAP テストを行うことによって側頭筋膜の抗酸化能を測定した。また病理学的特性については HE 染色にて組織学的変化を観察した。

4. 実験材料および方法

4.1. 実験材料

研究プロトコルは、山口大学医学部附属病院の倫理委員会（H28-036）によって承認された。2007年1月から2012年12月までに山口大学病院耳鼻咽喉科で耳科手術を受けた患者21症例（10人の男性患者と11人の女性患者）で構成され、年齢範囲は9～87歳（平均年齢：49.62歳）であった。耳科手術中に再建材料として採取した側頭筋膜を研究に使用した。手術中に採取された側頭筋膜は、圧迫鉗子を使用してガーゼシート2枚の間に入れ圧迫することにより、室温で即時に乾燥状態にすることができた。初回の手術で採取し使用した後に残存した側頭筋膜は、滅菌マイクロチューブに移され、今後再手術時に使用するために-30℃で保存された。この研究では、その後の手術に必要ではないと判断された患者の冷凍保存された側頭筋膜が使用された。

4.2 物理学的評価

新鮮な側頭筋膜と冷凍保存された側頭筋膜の物理的特性を比較し評価するために、引張試験が施行された。引張試験は、室温（20℃）で実施し、側頭筋膜の強度を測定した。最初に乾燥状態の側頭筋膜の表面をマイクロスコップで観察し、側頭筋膜の線維方向を確認した。乾燥した側頭筋膜を1.6 mm×20 mmの短冊状に切断し、その長径が線維方向に沿うようにして加工した。その後、生理食塩水に浸して湿潤となった側頭筋膜で引張試験を施行した（図1a）。引張試験の直前に、湿潤となった側頭筋膜の厚さを3Dレーザー顕微鏡で測定した。側頭筋膜の厚さは資料中央部付近を5mm間隔で2箇所を測定し、その平均値とした。引張試験では、標点間距離が6 mmになるように、側頭筋膜の両端をロードセルに固定した（図1b）。引張速度は0.1 mm / s、ひずみ速度は1.7 %

に設定した。張力をかけている間にロードセルから抜去されることは回避することができたサンプルをデータとして採用し、引張試験器のロードセル部分で破断したサンプルは応力-ひずみ関係において他のサンプルと傾向が異なると考えられるため、試験から除外した。(図 1c) ひずみが増加するにつれて、応力は徐々に増加し、側頭筋膜が壊れると急激に減少した。図 1d に示すように、測定結果はすべて 1 つのピークを示した。サンプルの中央部で破断する直前の応力の最大値を引張強度として定義した。評価項目として引張強度と側頭筋膜の厚さ、保管期間、被験者の年齢の関係の 3 つを評価した。さらに、サンプルは保管期間に基づいて 2 つのグループのいずれかに割り当てられた。この研究では、保管期間が比較的短いサンプルは 50 日未満であった。したがって、側頭筋膜はこの条件下で 2 つのグループに分けられた。新鮮側頭筋膜のグループでは、側頭筋膜の保存は 50 日よりも短い期間であった。冷凍保存された側頭筋膜のグループでは、側頭筋膜の冷凍保存期間は 50 日間以上であった。新鮮側頭筋膜グループと冷凍保存された側頭筋膜のグループの期間の平均は、それぞれ 37.2 日と 1525.4 日であった。

4.3 化学的性質の評価

新鮮な側頭筋膜と冷凍保存された側頭筋膜の化学的特性を評価するために、生物学的抗酸化能 (BAP) テストが実行された。12 の側頭筋膜は 2 つのグループ (新鮮側頭筋膜グループと冷凍保存された側頭筋膜グループ) に分けられた。合計 0.4 ml のシヨ糖緩衝液 (シヨ糖 : 0.25 mol / l、Tris-HCl 緩衝液 : 10 mmol / l pH : 7.4、EDTA : 1 mmol / l) を各検体に加えた (0.002 g) 。試料は、ジルコニアビーズを備えた組織ホモジナイザー (Micro Smash MS-100、TOMY SEIKO CO. LTD、日本) を用いて 40 秒間 3 回均質化し、筋膜を溶解した。こ

の混合物を使用して, BAP テストで抗酸化能力を評価した[23, 24]. このテストの基本原理は, よく知られている血漿中第二鉄還元能力 (FRAP) テストの原理に似ている. BAP テストは, FRAS4 システム (Health & Diagnostic Ltd. Co., イタリア, パルマ) を使用して実施された.

4.4 病理組織検査

BAP テストを施行した後に残存している側頭筋膜を組織病理学的分析に使用した. 12 個の側頭筋膜をヘマトキシリンとエオシン (HE) で染色した. 染色された側頭筋膜を顕微鏡用のパラフィンに埋め込んだ後, 厚さ 0.3 μm にスライスし, 顕微鏡にて観察した.

4.5 統計分析

図 2-4 の散布図は, JMP®Pro 14.0.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を使用し作成した. さらに, このソフトウェアでスピアマンの順位相関を使用して, 相関分析を計算した. 図 5 と図 6 の 2 つのグループの比較は, StatView バージョン 5.0J for Macintosh (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を使用し, Mann-Whitney U 検定で行われた.

5. 結果

5.1 冷凍保存された側頭筋膜の物理的性質

側頭筋膜の厚さは、100 μm から 300 μm の範囲で、男性と女性の間で顕著な差は認められなかった。厚い側頭筋膜は引張強度が低い傾向があった。厚さと引張強度の相関は重要である（図 2）。次に保存期間と引張強度の関係を図 3 に表す。保持期間と引張強度の間には相関が認められなかった。比較的短い保管期間でも、側頭筋膜の引張強度には大きな個人差が認められた。年齢と引張強度の関係については、若年および高齢を比較した場合、引張強度は中年の側頭筋膜で最も高かった（図 4）。図 4 の近似曲線は、弱い相関を理解するためのアイガイドとして表示された。2 つのグループの引張強度の結果を図 5 に示します。新鮮側頭筋膜グループと冷凍保存された側頭筋膜グループの間には引張強度に差は認められなかった。

5.2 冷凍保存された側頭筋膜の化学的性質

BAP テストの結果を図 6 に示す。組織は通常、長期間保管すると酸化する傾向がある。したがって、組織の抗酸化能力が低下する。今回の側頭筋膜においては数年間冷凍保存した後でも新鮮側頭筋膜と比較して抗酸化能は検出可能な変化は認められなかった。

5.3 保存された筋膜の組織病理学的特性

12 枚の側頭筋膜を HE 染色し顕微鏡にて観察した。コラーゲン線維と脂肪組織がすべての標本で観察された。ただし、2 つのグループ間に違いを観察することはできなかった。

6. 考察

側頭筋膜は、しばしば鼓膜形成術や鼓室形成術の再建材料として使用される。鼓室形成術や鼓膜形成術における側頭筋膜の役割としては移植した側頭筋膜グラフトに対して、鼓膜の結合組織層より新生血管が侵入し、側頭筋膜グラフトは肉芽化される[10]。そのため、鼓膜形成術や鼓室形成術を成功させるためには、新しい鼓膜が生成されるまで側頭筋膜を所定の位置に保持する必要がある。したがって、側頭筋膜は感染および外力に耐える必要がある。今回の研究は、側頭筋膜の強度が繊維の引張方向によって異なるという仮定に基づいて実施された。鼠径部筋膜を使用した以前の研究では、筋膜の強度は繊維の長軸に沿って垂直方向よりも著しく高いことが報告された[25, 26]。したがって、この研究では繊維の長軸に沿ってのみ引張強度を測定した。側頭筋膜の引張強度に関するいくつかの研究がこれまで報告されている[27-29]。トリンダーデらは死体から収集した側頭筋膜の引張強度を調べた。彼らは側頭筋膜を 51 歳未満と 51 歳以上の 2 グループに分類し引張強度を測定した。引張強度は 51~70 歳の側頭筋膜よりも 20~50 歳のそれらの方が有意に高いことを報告した[30]。また、フォーゲルはラットから採取した皮膚、尾の腱、動脈などのさまざまな組織が加齢とともに硬化し、動物の成熟後に組織の強度が徐々に低下することを報告した[31, 32]。本研究では、側頭筋膜の引張強度は年齢を経るにつれて徐々に増加し、成人期初期にピークに達した。その後は低下した。我々研究の結果は、これまでに報告された引張試験の研究と同じ傾向を示した。さらに、冷凍保存期間が側頭筋膜の引張強度に影響を及ぼさないことを示唆した。手術後に鼓膜穿孔が再発した場合、冷凍保存された側頭筋膜が再手術に使用されることがある。我々の結果は、冷凍保存期間が側頭筋膜の引張強度に影響を与えなかったことを示しており、物理的特性においては冷凍保存された側頭筋膜の再手術への使

用を支持することができると考えられる。化学的特性については抗酸化能という観点から評価を施行した。材料が空気中に保管されると、酸化が起こり、変性が生じる。酸化による変性を抑制する方法としてジメチルスルホキシド (DMSO) を用いて保存する方法がある、DMSO には液体窒素が含まれており、同試薬を用いて保存する方法は、空気から隔離して材料を保存することができるという報告されている [33]。これは、貯蔵材料の酸化を防ぐ方法と考えることができる。しかし、この方法ではいくつかのデバイスを準備する必要があり、一般的な診療所で複数の標本を保管することは困難である。そこで、この研究では多くの病院で使用されている条件に従って、容易に入手可能な 1.5 ml エッペンドルフチューブに入れて、 -30°C の低温で保存した。BAP テストを使用して、冷凍保存された側頭筋膜の抗酸化能を評価した。もともと、BAP テストは、生物の抗酸化力を測定する方法として広く使用されていたが、食物の酸化の評価にも適用されている [34, 35]。BAP テストは、第二鉄(Fe^{3+})イオンを第一鉄(Fe^{2+})イオンへ還元することでサンプルに含まれるすべての水溶性の抗酸化物質、尿酸、アスコルビン酸、タンパク質、ビリルビンおよびポリフェノール類などの抗酸化力を総合的に示すことが可能な測定手法である。この研究の結果に基づいて、BAP テストで検出された抗酸化能の変化は、保存された筋膜では観察されないと判断された。抗酸化能を低下させる組織酸化は、研究サンプルでは発生しなかったと考えられる。病理学的特性については組織内のコラーゲン線維と脂肪組織の量について検討した。筋膜は主に I 型コラーゲン線維からなる密性結合組織で膠原線維束が種々の方向に交織するように走る構造である。コラーゲン線維や膠原線維の量について検討した結果、新鮮側頭筋膜・冷凍保存された側頭筋膜共に認められ、その量についても変化は認められなかったため、病理学的構造においても冷凍保存による影響は低いと考える。今回

の研究にて新鮮側頭筋膜と冷凍保存した側頭筋膜を比較検討した結果、物理的特性・化学的特性・病理学的特性に関して有意な差は認められず、冷凍保存することによって側頭筋膜が影響を受ける可能性は低く、再手術において冷凍保存した側頭筋膜を用いることによるデメリットは低いと考える。

7. 結語

冷凍保存された側頭筋膜は、物理的特性・化学的特性・病理学的特性に関して新鮮側頭筋膜と比較して相違なく、鼓膜形成術や鼓室形成術に安全に使用できることが示唆された。

8. 参考文献

1. Tamotsu Morimitsu. Reconstruction of the tympanic membrane in tympanoplasty. 耳鼻と臨床. 1994;40:555~563.
2. Betow, C. : Reconstruction of the middle ear and the posterior osseous wall of the auditory canal with homograft Trans. Amer. Acad. Ophthal. Otolaryng. 1975;80:573-576.
3. Chalet, N.I : Tympanic membrane transplant. Harper Hosp Bull. 1964;22:27-34.
4. Marquet, J.F.E. : Reconstructive microsurgery of the eardrum by means of a tympanic membrane homograft. Acta,Otolaryngol 1966;62:459-464.
5. Smith MFW: The results of an international questionnaire on otologic homografts. Trans Am Acad Ophthalmol Acta Otolaryngol 1975;80:71-72.
6. Marquet, J.F.E. : Myringoplasty by eardrum transplantation. The Laryngoscope 1968;78: 1329-1336.
7. 白馬 伸洋 : Closure Methods for Perforated Tympanic Membrane. 耳鼻臨床 2008;101:810-811.
8. Tange R A: A tragic case of Creutzfeld-Jacob disease in otology. Politzer's Meeting in Maas- tricht, 1991
9. Moriyama H, Aoki K, Honda Y: Homografts of the tympanic membrane with malleus; histological study in cat. Auris Nasus Larynx 1985;12:73-80.
10. Saraç S, Gürsel B. Use of homograft dehydrated temporal fascia in tympanoplasty. Otol Neurotol 2002;23:416-21.
11. Jiang Z, Lou Z. Impact of the nature of the temporalis fascia graft on the outcome of type I underlay tympanoplasty. J Laryngol Otol 2017;131:472-5.
12. 湯浅 涼: 鼓膜形成術(接着法)3,000 例の経験から. 耳展 1996;39: 419-425.

13. 山田良宣: 全身麻酔下での鼓膜形成術(接着法)施行例の検討. 耳鼻臨床 補 2002;109: 45-49.
14. 山田弘之: 接着法による鼓膜形成術の成績. 耳鼻臨床 2003;96:951-954.
15. 橋本 茂久: 当科における接着法による鼓膜形成術の検討. Otol Japan 2007;17:124-127.
16. 鈴木秀明: 慢性中耳炎患者の術後再穿孔鼓膜に対する薄切軟骨を用いた再鼓膜形成術. J UOEH 2016;38:237-242.
17. 前田 学: 鼓膜形成術における従来法と接着法の比較. 日耳鼻 1998;101:1062-1068.
18. 山田弘之: 接着法による鼓膜形成術の成績. 耳鼻臨床 2003;96:951-954.
19. 金子明弘: 接着法を用いた鼓膜形成術の成績と工夫. Otol Japan 2006;16: 81-86.
20. 竹村考史: 当科における鼓膜形成術の治療成績. 耳喉頭頸 2009;81:639-642.
21. 伊藤潤平: 当院における真珠腫性中耳炎手術症例の検討. Otol Japan 2018;28:668-674.
22. Sakagami M, Yuasa R, Yuasa Y. Simple underlay myringoplasty. J Laryngol Otol 2007;121:840-4.
23. Benzie IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Anal Biochem 1996;239:70-6.
24. Bolanos de la Torre AA, Henderson T, Nigam PS, Owusu-Apenten RK. A universally calibrated microplate ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay for foods and applications to Manuka honey. Food Chem 2015;174:119-23.
25. Kirilova M. Time-dependent properties of human umbilical fascia. Connect Tissue Res 2012;53:21-8.
26. Kirilova M, Stoytchev S, Pashkouleva D, Kavardzhikov V. Experimental study of

- the mechanical properties of human abdominal fascia. *Med Eng Phys* 2011;33:1-6.
27. Cable HR. Surface tension and temporalis fascia grafts. *J Laryngol Otol* 1981;95:667-73.
 28. Tuite DJ, Renstrom PA, O'Brien M. The aging tendon. *Scand J Med Sci Sports* 1997;7:72-7.
 29. Kureshi A, Vaiude P, Nazhat SN, Petrie A, Brown RA. Matrix mechanical properties of transversalis fascia in inguinal herniation as a model for tissue expansion. *J Biomech* 2008;41:3462-8.
 30. Trindade VLA, Martins PALS, Santos S, Parente MPL, Natal Jorge RM, Santos A, et al. Experimental study of the influence of senescence in the biomechanical properties of the temporal tendon and deep temporal fascia based on uniaxial tension tests. *J Biomech* 2012;45:199-201.
 31. Vogel HG. Influence of maturation and age on mechanical and biochemical parameters of connective tissue of various organs in the rat. *Connect Tissue Res* 1978;6:161-6.
 32. Vogel HG. Influence of maturation and aging on mechanical and biochemical properties of connective tissue in rats. *Mech Ageing Dev* 1980;14:283-92.
 33. Pegg DE. The preservation of tissues for transplantation. *Cell and tissue banking* 2006;7:349-58.
 34. Turkmen N, Velioglu Y, Sari F, Polat G. Effect of extraction conditions on measured total polyphenol contents and antioxidant and antibacterial activities of black tea. *Molecules* 2007;12:484-96.
 35. Zarban A, Taheri F, Chahkandi T, Sharifzadeh G, Khorashadizadeh M. Antioxidant and radical scavenging activity of human colostrum, transitional and mature milk. *J*

Clin Biochem Nutr 2009;45:150-4.

この論文は *Auris Nasus Larynx* に掲載の *Effect of preservation on the physical and chemical properties of the temporal fascia.*より引用したものである.

9. 図表

Fig. 1.

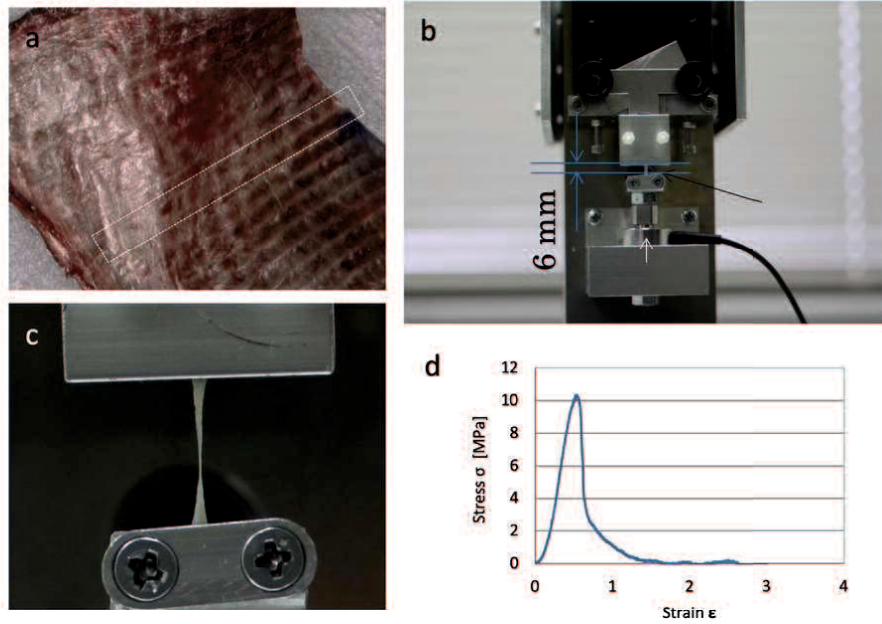


Fig. 2.

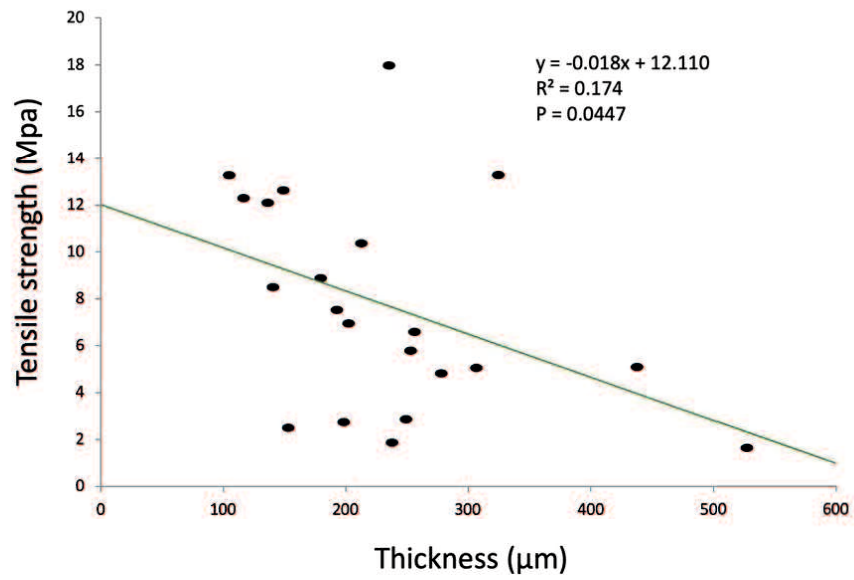


Fig. 3.

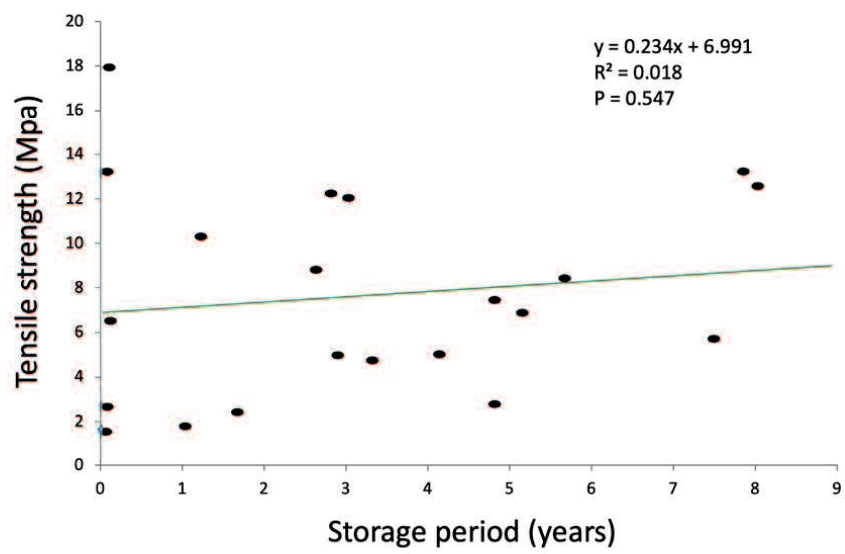


Fig. 4.

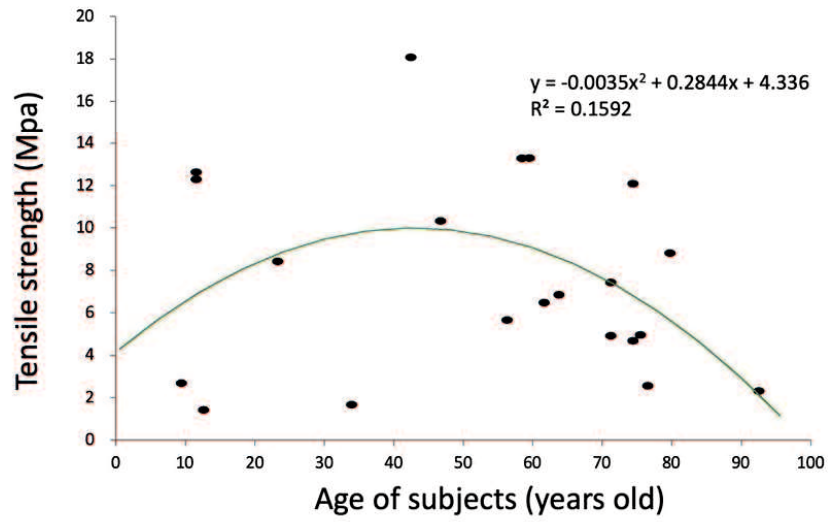


Fig. 5.

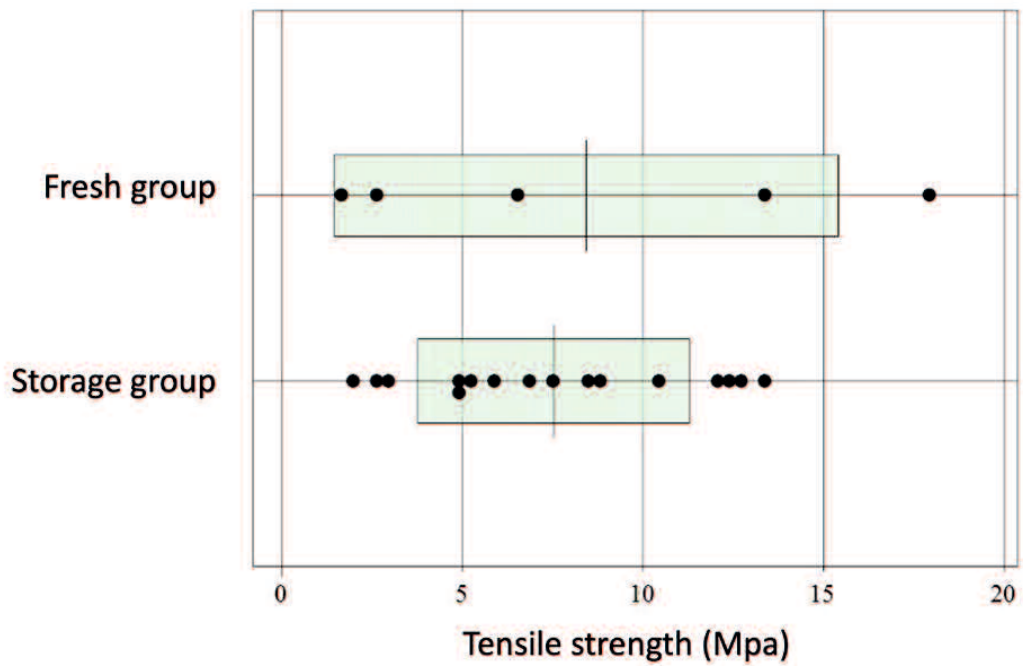


Fig. 6.

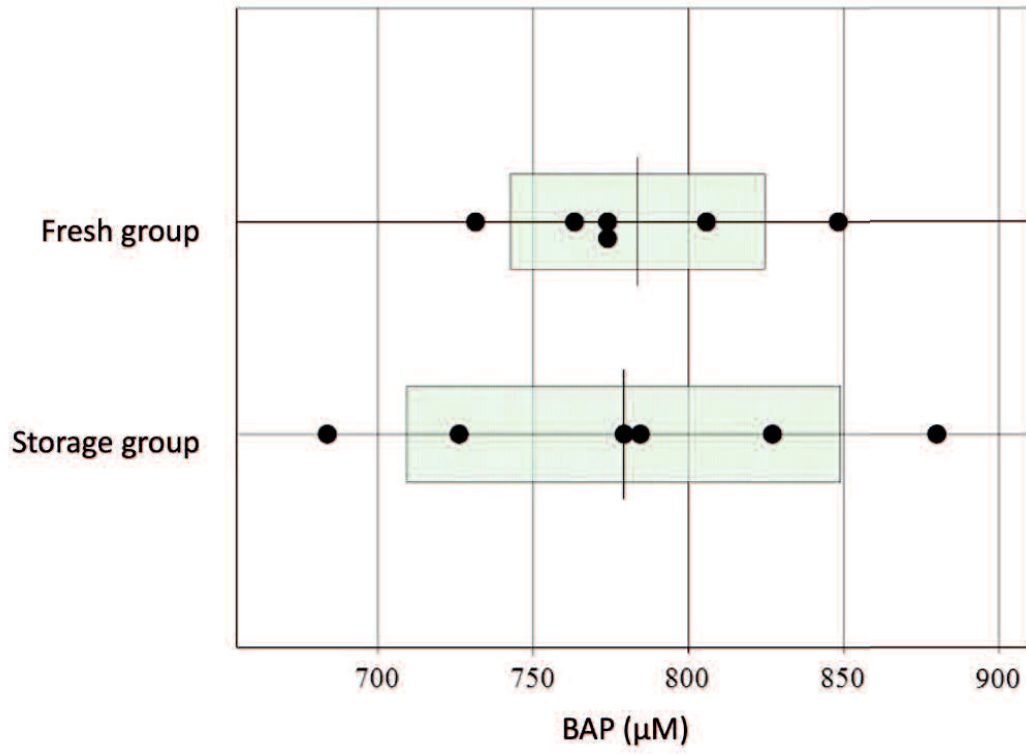
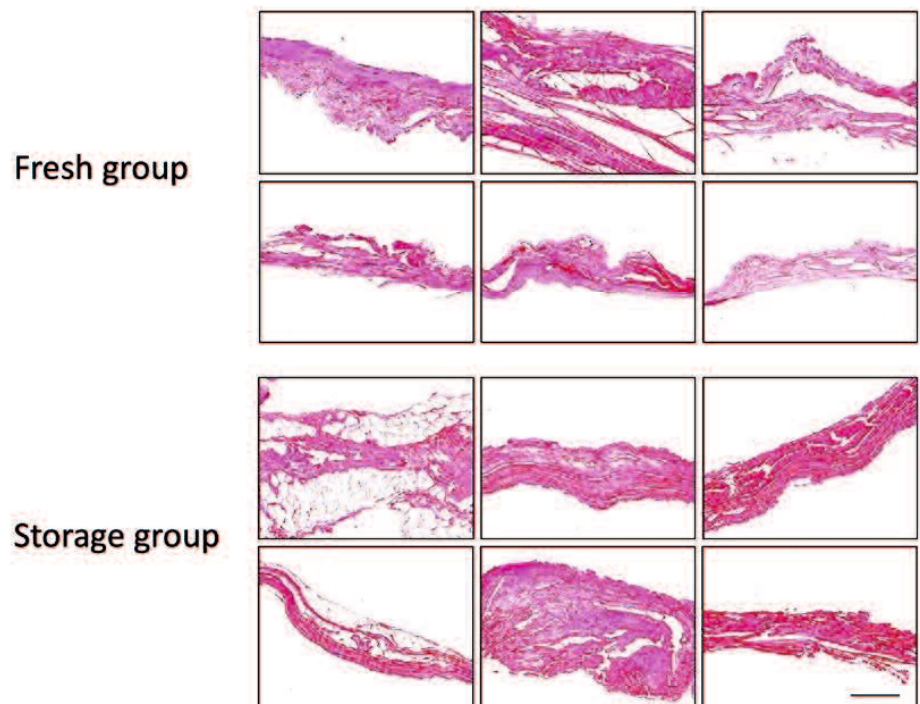


Fig. 7.



10. 図表の説明

Fig. 1. 引張試験

乾燥した側頭筋膜の表面を顕微鏡で観察した後、繊維方向に沿ってサンプルを採取した (a) . 引張試験機を使用して、側頭筋膜サンプルにゲージ距離 6 mm の幅で張力をかけた (b) . 黒い矢印：標本, 白い矢印：ロードセル. 側頭筋膜は、張力により中央部分で破裂した (c) . 歪みは張力の増加とともに増加し、筋膜の破裂後に急速に低下した (d) .

Fig. 2. 側頭筋膜の厚さと引張強度の関係

厚い筋膜は引張強度が低い傾向であった. 厚さと引張強度の間の相関は重要である. 実線は線形回帰を表す. 決定係数は 0.174 で, p 値は 0.0447 であった.

Fig. 3. 保存期間と引張強度の関係

保存期間と側頭筋膜の引張強度との間に明確な相関関係はなかった. 実線は線形回帰を表す. 決定係数は 0.018 で, p 値は 0.547 であった.

Fig. 4. ドナー被験者の年齢と側頭筋膜の引張強度との関係

年齢と引張強度の相関には 1 つのピークを示す傾向があり、ピークは中年の被験者で見られた. おおよその曲線は、弱い相関関係を理解するためのアイガイドとして表示された. 決定係数は 0.1592 であった.

Fig. 5. 2 つのグループの側頭筋膜の引張強度

新鮮側頭筋膜のグループと冷凍保存された側頭筋膜のグループの間では引張強度に差は認められなかった.

Fig. 6. 2つのグループの側頭筋膜の抗酸化能

BAP テストで評価された抗酸化能が示されている。新鮮側頭筋膜のグループと冷凍保存された側頭筋膜のグループの間で抗酸化能に違いは認められなかった。

Fig. 7. 2つのグループの側頭筋膜の組織学的所見

12個の側頭筋膜のヘマトキシリンおよびエオシン（HE）染色の結果が示されている。コラーゲン線維と一部の脂肪組織がすべてのサンプルで観察された。2つのグループ間に組織学的な違いは観察されなかった。図のスケールバー= 200 μm .