

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：37104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26293040

研究課題名(和文) 全身の結合組織線維芽細胞のFIB/SEMトモグラフィによる三次元超微形態解析

研究課題名(英文) Three dimensional ultrastructural analysis of fibroblasts and their cellular network in the connective tissue by FIB/SEM tomography

研究代表者

中村 桂一郎 (NAKAMURA, KEIICHIRO)

久留米大学・医学部・教授

研究者番号：20172398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：全身の結合組織を構成する線維芽細胞群について、個々の細胞の三次元微細構造と機能的組織構築の理解を目的に、光顕レベルの組織検索に続き、新機軸走査型電子顕微鏡FIB/SEMによる三次元微細構造解析を行った。結果として、皮膚真皮、泌尿生殖臓器の壁、腱骨附着部、歯根膜において、通常の切片観察では紡錘形や樹状とされていた細胞の形状が、実際には扁平・菲薄で、うねりながら広範に広がるシート状であることが示され、また、お互い連結して、結合組織領域を区分けするよう配置する細胞ネットワークを形成していることが示された。compartmentalizationといえる機能的ユニット構築に与与する可能性が示唆される。

研究成果の概要(英文)：In order to reevaluate the connective tissue cellular construction, we have performed FIB/SEM tomography analysis; a novel election microscope technique that enables to obtain serial fine microscopic images and three dimensional ultrastructural analysis by reconstructing structures on image analyzing PC system, upon dermal tissue of the skin, wall of urogenital organs, tendon-bone junction, and periodontal ligaments, following the ordinary histological observations. As results, our FIB/SEM tomographic observations have revealed that the cells usually show very thin, flat, and undulated sheet-like shape, although the shape usually described as spindle or dendritic with one or more thin processes. Those cells are connected one another to form cellular network, and the flat surface of them divide the connective tissue space into small compartments (compartmentalization), which could play important functional roles for biomedical phenomenon.

研究分野：医歯薬学

キーワード：線維芽細胞 結合組織 細胞ネットワーク 三次元微細構造 FIB/SEM 電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

(1) 線維芽細胞は結合組織一般の主要な構成細胞であり、紡錘形あるいは突起をもつという一般的形態や、そもそも記載された折に注目された機能的特徴から、線維芽細胞、筋線維芽細胞、間質細胞、細網細胞、星状細胞、樹状細胞、interstitial cell、stromal cell、reticular cell、stellate cell、dendritic cell、fibroblast、myofibroblast 等、分布部位や機能状態の違いによって、様々な名称で呼ばれる。機能的には、コラーゲン産生が主たる機能であるとされるものの、広い意味で線維芽細胞に分類される細胞は、組織枠組み構築、生理活性物質産生、電気的シグナル伝達、さらに、組織再生に関わるなど、存在部位により高度に分化していると考えられる。組織再生においては、そもそも iPS 細胞が線維芽細胞由来であることは有名であり、また、骨折および創傷の治癒に重要な役割を果たすことも周知である。さらに、再生医療に有用な細胞ソースであり、造血幹細胞・組織幹細胞の活動が詳細に研究されている骨髄においては、stromal cell あるいは reticular cell と呼ばれる線維芽細胞系細胞の幹細胞ニッチとしての役割が注目されており、組織幹細胞そのものとの関連も興味深い。このように、これら細胞群は生命維持に重要であると考えられるものの、組織切片観察における単純な形状や、また、培養した場合の強靭さや扁平な一様な形状を示すという特徴から、生命維持のための医学生物学的意義については注目されていない。申請者らは、細胞培養系における cell line 樹立やこれまでの多くの正常および病態における臓器・器官の組織解析から、組織毎に異なる線維芽細胞の形状、分布様式に注目してきた。しかし、いずれの臓器・器官においても、光顕、電顕ともに、切片観察では、これ以上詳細な結合組織細胞・組織構築の形態解析は困難であることから未だ明確でない。

(2) 2008 年 FIB/SEM トモグラフィと呼ばれる新機軸顕微技法が医学生物学分野の研究に導入され、申請者の所属する久留米大学において文部科学省私学助成により、いち早く FIB/SEM が設置された。これまで本装置をもちいた研究計画が 2 度科研費挑戦的萌芽研究に採択され、2011~2012 年度にはエポン包埋生物試料への応用の最適化を行い、その実績をもとに、2013 年度からは消化管壁の間質細胞の三次元超微構造解析に取り組んできた。本方法は、三次元微細構造が詳細に観察できること、また、FIB(focused ion beam)が骨、靭帯、歯、さらに金属に至るまで精密切削が可能であることから、方法論的に組織切片での解析が極めて困難であった従来の研究を大きく発展させるものであり、組織構築について大きな医学生物学的展開を期待させるものである。今回の研究計画は、それらの研究成果を基盤とする (Ohta *et al.*, Micron 2012)。

2. 研究の目的

(1) ほ乳動物生体内結合組織の機能的意義再考の基盤となる組織・細胞の形態的特徴を明確にすることを目的とする。代表的な数例の結合組織を選択し、そこにおける線維芽細胞群の個々の細胞の細胞学的特徴(数、大きさ、形状、隣接細胞との関係、組織構築における意義、さらに細胞接着分子、レセプター、ギャップ結合、チャネル、トランスポーター等細胞間情報伝達分子等の分子解剖学的マーカー)を検討し、それらの共通点および発生・機能分化に基づく相違点を組織学的・免疫組織化学的に検討する。

(2) さらに、本研究計画では、これら個別の代表的結合組織の解析結果から、その他の結合組織への連続性および共通点を詳細に検討し、全身の結合組織への一般化を試みる。

3. 研究の方法

本研究では、限られた研究期間内に成果が期待される材料としていくつかの解析対象組織を選択した。すなわち、皮膚真皮、泌尿生殖臓器、腱骨附着部、骨膜附着部、歯根膜である。

(1) 一体型蛍光顕微鏡による組織切片の組織学的解析：第一に、光学顕微鏡レベルにおける組織観察および免疫組織化学による機能分子の発現様式の検討を行った。この目的には、本研究計画初年次のキーエンス一体型蛍光顕微鏡の導入が極めて有効であった。

(2) FIB/SEM による連続高解像電顕画像取得と画像解析ワークステーションによる三次元再構築解析：光顕レベルで選抜した解析対象について、新機軸電子顕微鏡 (FIB/SEM Quanta 3D FEG, FEI; 文科省私学助成金により当該施設に設置済み) による連続高解像電顕画像の取得、および、それら連続画像をもちいた画像処理ワークステーション (画像処理 PC ソフト) 上の三次元再構築手技 (FIB/SEM トモグラフィ法) による三次元微細構造解析を遂行した。

4. 研究成果

全身の間葉組織・結合組織の枠組み (scaffold) を構成する間質細胞・線維芽細胞群 (fibroblasts; stromal cells; reticular cell; dendritic cells, etc.) の個々の細胞の三次元微細構造と組織構築の解析、皮膚真皮をはじめとするいくつかの臓器において、通常の切片観察では紡錘形や樹状とされていた細胞の形状が、実際には扁平な、極めて菲薄なシート状であることが明確に示され、また、お互い連結することにより、結合組織領域をあたかも区分けするように配置するネットワークを形成していることが示された。以下、個々の臓器・組織について結果を略記する。

(1) 皮膚真皮、精嚢壁、膀胱壁平滑筋収

縮調節に關与する構造の解析：FIB/SEM をもちいた我々の解析により、皮膚真皮の線維芽細胞および精囊壁に分布する間質細胞の形状が、紡錘形や樹状（星状）ではなく、非常に扁平・菲薄で、うねりながら広範に広がるシート状であることが明示されたことは画期的である（Oka *et al.*, Kurume Med J 2016, Hashitani *et al.* Eur J Physiol 2017, 参考 中村桂一郎 細胞工学 2015）。また、隣接する細胞間で局所的に物理的に接触・結合して、全体として細胞ネットワークを形成していることが示され、exosome のような分泌性構造・分子による液性情報伝達とともに重要な細胞間シグナル伝達機構である直接接触という物理的構造構築、さらに、それにより構築される細胞ネットワークが機能するが故に全体として調和のとれた機能を果たすことができることが示唆される。Takeya ら（J Physiol 2017）では、精囊上皮の剥離除去によりリズムをもった平滑筋収縮が失われることから、上皮の影響が重視されるが、剥離操作により、Ca イメージングにより同定される間質細胞も影響をうける可能性が残されており、今後さらなる解析が求められる。次に光顕、電顕とも、切片観察では細長い細胞質の突起が PDGFR 陽性の間質細胞から伸びているのが捉えられ、FIB/SEM tomography による三次元微細構造解析では、それら突起は、薄くて扁平な細胞の一部であることが示された。また、扁平な細胞表面に沿って、神経線維が張り付くように走行するのも観察された。これらの結果は基礎・臨床医学の学会で発表し、過活動膀胱など、昨今問題となっている平滑筋収縮機構の異常に關連する疾患の研究者らから注目されている。現在、本研究を主導している研究分担者の林らが、Ca イメージング等をあわせて、これら構造の平滑筋収縮調節への關与を検討しながら、論文執筆中である。

（2）硬組織を含む構造の解析（歯根膜細胞構築、頭蓋骨帽状腱膜結合構造、腱骨附着部の正常および病態における細胞構築）：歯根膜は、光顕切片による組織観察では、向き合う歯槽骨と象牙質の間に垂直に走行する膠原線維束、および、楕円形の核の長軸が膠原線維と同じ方向に配置するため、線維束と同方向に配置していると理解される線維芽細胞により構築されているように見える。しかしながら、FIB/SEM tomography による解析では、積み重なるように配置する短冊状の個々の線維芽細胞は短冊の短軸が骨組織とセメント質の間に順次、短冊の短軸方向に配置するよう並び、楕円形の核は短冊状細胞の短軸と直行する配置をとっていることが明確になった。それぞれの細胞は骨・セメント質間に、膠原線維と概ね並行する小間隙を形成し、その中に膠原線維束を束ねている（Hirashima *et al.*, Sci Rep 2016）。次に、頭蓋骨骨組織とその周辺の骨膜との間の結合組織性線維の分布・走行を FIB/SEM により

解析する中で、骨組織中に陥入してくる線維束（シャープ線維）を取り囲む扁平な細胞が見出された。線維芽細胞と認められるこのような細胞は、膠原線維束を包み込むように配列しており、線維束の形成・維持に關与することが示唆された。骨膜の最も骨組織側に分布する扁平な線維芽細胞との鑑別が困難であるが、切片では区別できなかった（Hirashima *et al.*, Sci Rep 2015）。次に、腱板断裂の外科的治療では、術後再断裂の頻度が高い。肉眼的には正常に治癒しているようにみえるが、今回の研究により、組織学的検索では腱骨間に介在する軟骨の発達や、腱骨附着部の細胞構築およびそれを構成する個々の細胞の形状が異なることが示された。正常発達過程における腱細胞の形状の時間的变化（Kanazawa *et al.*, 2015）と合わせて考察すると、修復した組織における細胞の特徴が異なることが示された。腱細胞の形状は、球形の細胞から、腱の発達と共に、細胞の片方の端に突起が形成され、腱組織の発育と共に、突起は伸張する（Kanazawa *et al.* Sci Rep 2016）。一方、修復腱では、細胞は多形であり、腱の膠原線維束に沿った一定の配向が認められない。これらの研究は、対象組織が骨、歯など硬組織であるため技術的困難があり、FIB の導入によりはじめて可能となった解析であり、これまで研究対象となっていなかった。

（3）国外研究者の動向、特に telocyte との關連性；10 年ほど前にルーマニアの研究グループが telocyte という概念を提唱し、その後、多くの論文が出版されている。Telocyte は電顕の切片観察において、長くて細い突起をもつ、線維芽細胞とは異なる細胞群であり、平滑筋収縮の調節、環境維持、さらに、幹細胞またはそのニッチとして機能しており、exosome により情報伝達しているというものであり、これまで平滑筋収縮調節との關連で多くの研究がなされてきた ICC（Interstitial cells of Cajal）の発展的解釈であるとされる。FIB/SEM による三次元微細構造解析による論文が 2 編出版されているが、解析の精度の問題からか、我々と同様の結論には至っていない。本方法を適切に応用することにより、電子顕微鏡レベルの分解能で、光顕観察に匹敵する広範囲な領域の微細構造観察が可能となり、画期的な細胞・組織構築理解が得られる、他では得られない有用な顕微技術である。しかし、新機軸電顕技法であるため、多くの技術的困難もあり、我々はこれまで、2 期にわたる科研費の支援のもと、本法の最適化を検討してきた。その結果、主として神経系以外の組織において、学会等において大変有用な技術発展に寄与できたと考えている。FIB/SEM 法は、現状において、これまでの電顕観察で確立されてきた組織保存法・固定法を踏襲しており、また、観察される画像もこれまでの一般的基準を満たすものである。さらに、免疫染色を含む

光顕レベルの試料作製法やこれまでの立体像観察のための SEM 観察のための組織固定法に比べて格段に厳密であるため、連続画像からえられる三次元像は信頼できると考えられる。iPS 細胞の由来が線維芽細胞であること、また、結合組織を場とする疾患も多く、血管、神経を含む、それらの構造理解は生命現象理解にとっても極めて重要であると思われる。今後、さまざまな臓器・器官の細胞・組織構築を本法により再検討することで、これまで解釈の難しかった生命現象を理解するための一助となることが期待される。

(4) 下垂体、神経系 (connectomics)、その他：ほ乳動物下垂体前葉には複数のホルモン分泌細胞が存在し、それぞれ特徴的な組織内分布をしている。特に血管との関係はホルモン分泌に関して重要な事項であり、ここでも三次元微細構造解析により、血管からは離れたホルモン分泌細胞が複雑な経路で走行する長い突起を血管壁まで延ばす様子が捉えられ、これまでの切片観察のみによる解析の限界を超えた結果が得られている (Yoshitomi *et al.*, *Sci Rep* 2016)。さらに、中枢神経系のシナプス結合ネットワーク解析 (connectomics) 分野で積極的な開発・導入・応用の取り組みが成されている。本研究の関連として、薬理学講座との共同研究で、海馬歯状回ニューロンのシナプス結合様式の形態学的検討を行った (Kitahara *et al.*, *PlosOne* 2016)。

(5) 最後に、昨今、多光子レーザー顕微鏡、超解像顕微鏡など光顕の顕微理論、および、確実な免疫染色や遺伝子導入による蛍光ラベルさらにコンディショナルな発色技術等、蛍光ラベル技術の発達により、多くの洗練された実験が可能となってきた。本研究計画においても、電子顕微鏡レベルの遺伝子ラベルを目指してスタートした実験・研究が進められている。

FIB/SEM トモグラフィ法は、走査型電子顕微鏡技術の発達により、より簡便な操作で、透過型電子顕微鏡像のような高解像断面画像が得られるようになったことにより可能となった顕微技法の一つであり、SBF-SEM 法や array tomography 法と合わせて、世界中で注目されている。3 年間の研究により、これまで明確に証明されることのなかった硬組織を含む、いくつかの代表的結合組織の細胞・組織構築を明らかにすることができた。結合組織は、上皮と筋・神経組織を体内においてつなぐ構造であり、生体内に分布する血管・神経が走行する場であり、また、炎症、膠原病等の場となる、上皮組織下において身体中に配置する領域である。その連続性、機能分化を念頭に、今後、さらに各結合組織の微細構造について解析を進め、生体の構造と機能について病態生理を含めた研究に繋げたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

Takeya M, Hashitani H, Hayashi T, Higashi R, Nakamura K, Takano M. Role of mucosa in generating spontaneous activity in the guinea pig seminal vesicle. *J Physiol* 2017 DOI: 10.1113/JP273872(査読有)

Hashitani H, Nguyen MJ, Noda H, Mitsui R, Higashi R, Ohta K, Nakamura K, Lang R. Interstitial cell modulation of pyloureteric peristalsis in the mouse renal pelvis examined using FIBSEM tomography and calcium indicators. *Pflügers Archiv - Eur J Physiol* 2017, 469, 797-813. DOI: 10.1007/s00424-016-1930-6 (査読有)

Yoshitomi M, Ohta K, Kanazawa T, Togo A, Hirashima S, Uemura K, Okayama S, Morioka M, Nakamura K. Three-dimensional ultrastructural analyses of anterior pituitary gland expose spatial relationships between endocrine cell secretory granule localization and capillary distribution. *Scientific Reports* 2016 6, 36019 DOI:10.1038/srep36019 (査読有)

Kanazawa T, Gotoh M, Ohta K, Honda H, Ohzono H, Shimokobe H, Shiba N, Nakamura K. Histomorphometric and ultrastructural analysis of the tendon-bone interface after rotator cuff repair in a rat model. *Scientific Reports* 2016 6, 33800 doi:10.1038/srep33800 (査読有)

Hirashima S, Ohta K, Kanazawa T, Okayama S, Togo A, Uchimura N, Kusukawa J, Nakamura K :Three-dimensional ultrastructural analysis of cells in the periodontal ligament using focused ion beam/scanning electron microscope tomography. *Scientific Reports* 2016 6 39435 doi: 10.1038/srep39435 (査読有)

Kitahara Y, Ohta K, Hasuo H, Shuto T, Kuroiwa M, Sotogaku N, Togo A, Nakamura K, Nishi A: Chronic Fluoxetine Induces the Enlargement of Perforant Path-Granule Cell Synapses in the Mouse Dentate Gyrus. *PLoS ONE* 2016 11 e0147307 doi:10.1371/journal.pone.0147307 (査読)

Oka T, Ohta K, Kanazawa T, Nakamura K : Interaction between Macrophages and Fibroblasts during Wound Healing of Burn Injuries in Rats. *Kurume Med J* 2016; 62: 59-66. doi: 10.2739/kurumemedj.MS00003. Epub 2016 May 25. (査読有)

Hirashima S, Ohta K, Kanazawa T, Uemura K, Togo A, Yoshitomi M, Okayama S, Kusukawa J, Nakamura K. Anchoring structure of the calvarial periosteum revealed by focused ion beam/scanning electron microscope tomography. *Scientific Reports* 2015 5:17511 DOI: 10.1038/srep17511. (査読有)

Nguyen MJ, Higashi R, Ohta K, Nakamura K, Hashitani H, Lang RJ: Autonomic and sensory nerve modulation of peristalsis in the upper urinary tract. *Auton Neurosci* 2016 200:1-10. doi: 10.1016/j.autneu. 2015.07.425. Epub 2015 Aug 4. (査読有)

Kanazawa T, Gotoh M, Ohta K, Shiba N, Nakamura K. Three-dimensional ultrastructural analysis of development at the supraspinatus insertion by using focused ion beam/scanning electron microscope tomography in rats. *J Orthop Res* 2015 DOI: 10.1002/jor.23111

Kanazawa T, Gotoh M, Ohta K, Shiba N, Nakamura K. 3D-ultrastructural analysis at repaired supraspinatus tendon/bone insertion in rat. *J Shoulder Elbow Surg* 2014 23: 602 (査読有)

太田啓介、金澤知之進、中村桂一郎. FIB/SEM トモグラフィ法による三次元再構築の特徴、顕微鏡 2014 49、161-165 査読有

[学会発表](計 19 件)

力丸由起子、力丸英明、井野康、太田啓介、金澤知之進、東龍平、都合亜記暢、中村桂一郎、清川兼輔、ラットを用いたヒト移植脂肪組織の経時的変化に関する組織学的研究、第 122 回日本解剖学会総会・全国学術会、2017.3.28-3.30、長崎大学坂本キャンパス(長崎市)

中村桂一郎 : FIB/SEM A Novel Electron Microscope For Three-dimensional Ultrastructural Analysis. The 1st ABiS Symposium、2017.2.19-20、岡崎コンファ

レンスセンター(岡崎市)

中村桂一郎: 線維芽細胞は紡錘形か? 新機軸走査型電子顕微鏡 FIB/SEM による観察. 第 68 回日本皮膚科学会西部支部学術大会、2016.11.19-20、米子コンベンションセンター(米子市)

金澤知之進、後藤昌史、大園宏城、下河邊久雄、中村桂一郎、志波直人. 正常腱骨付着部形成と腱板縫合後腱骨間治癒過程の三次元超微形態解析、第 31 回日本整形外科学会基礎学術集会、2016.10.13-14、福岡国際会議場(福岡市)

Hayashi T, Uemura K, Hirashima S, Kanazawa T, Takeya M, Ohta K, Nakamura K, Igawa T: Three-dimensional observation of suburothelial interstitial cell by FIB/SEM tomography. 46th ICS annual meeting (Tokyo 13-16 September 2016) 東京国際フォーラム

平嶋伸悟、太田啓介、金澤知之進、都合亜記暢、岡山聡子、楠川仁悟、中村桂一郎、硬組織界面における 3 次元微細構造解析、第 58 回歯科基礎医学会学術大会、2016.8.24-26、札幌コンベンションセンター(札幌市)

Okayama S, Ohta K, Higashi R, Nakamura K. Three Dimensional Localization of Mitochondrial Nucleoid within a Mammalian Cell by Using CLEM Method Combined with FIB-SEM. *Microscopy & Microanalysis* 2016 Meeting. 2016.7.24-28 (Columbus Ohio USA)

力丸由起子、太田啓介、金澤知之進、東龍平、都合亜記暢、岡山聡子、中村桂一郎. FIB/SEM tomography を用いた皮膚の病態生理解析の新技术、第 121 回日本解剖学会 総会・全国学術集会、2016.3.28-30、ビッグパレットふくしま(郡山市)

太田啓介、宮園佳宏、岡山聡子、金澤知之進、中村桂一郎、Volume CLEM による機能構造解析への展望、第 121 回日本解剖学会総会・全国学術集会、2016.3.28-30、ビッグパレットふくしま(郡山市)

中村桂一郎、金澤知之進、力丸由起子、平嶋伸悟、宮園佳宏、岡山聡子、東龍平、太田啓介、次世代走査型電子顕微鏡による三次元微細構造解析、第 93 回日本生理学会大会、2016.3.22-24、札幌コンベ

ンションセンター（札幌市）

金澤知之進、後藤昌史、太田啓介、都合亜記暢、中村桂一郎、ラット正常付着部と腱板縫合後腱骨間の超微形態/細胞分布の検討、第 47 回日本臨床分子形態学会総会・学術集会、2015.9.18-19、長崎大学医学部良順会館（長崎市）

平嶋伸悟、太田啓介、金澤知之進、都合亜記暢、楠川仁悟、中村桂一郎、力学的負荷に対する歯根膜組織変化の3次元超微細形態解析、2015.9.11-13、第 57 回歯科基礎医学会学術大会、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（新潟市）

金澤知之進、後藤昌史、太田啓介、都合亜記暢、中村桂一郎、3D-ultrastructural analysis of the development at the supraspinatus insertion with FIB/SEM tomography、日独整形外科医会、2015.5.20、神戸アリストンホテル（神戸市）

Kanazawa T, Gotoh M, Ohta K, Togo A, Shiba N, Nakamura K.
3D-ultrastructural analysis of the development at the supraspinatus insertion with FIB/SEM tomography.
2015 Annual meeting Orthopaedic Research Society 2015.3.28-31
LasVegas Arizona USA

Kitahara Y, Ohta K, Sotogaku N, Nakamura K, Nishi A. Analysis of synaptic connectivity with FIB/SEM: antidepressant-induced morphological changes in perforant path synapse in the dentate gyrus、第 120 回日本顕微鏡学会総会、(生理学会合同)全国学術集会、2015.3.21-3.23、神戸国際会議場（神戸市）

Nakamura K, Higashi R, Nguyen MJ, Lang R, Hirashima S, Kanazawa T, Takeya M, Hayashi T, Hashitani H, Ohta K. A novel stromal cell network visualized by FIB/SEM tomography. 第 120 回日本解剖学会総会全国学術集会、2015.3.21-3.23、神戸国際会議場（神戸市）

Nakamura K, Higashi R, Takeya M, Hayashi T, Hirashima S, Kanazawa T, Nguyen NJ, Lang R. A novel stromal cell network visualized by FIB/SEM tomography. 2015.6.14-19. Symposium "Multicellular Inputs Regulating Muscle Excitability" (University of Nevada School of Medicine:Las Vegas)

Ohta K, Okayama S, Togo A, Nakamura K. Three dimensional organization of the endoplasmic reticulum membrane around the mitochondrial constriction site in mammalian cell revealed using focused-ion beam tomography、第 58 回日本顕微鏡学会シンポジウム、2014.11.16-2014.11.17、九州大学医学部百年講堂（福岡市）

Ohta K, Okayama S, Togo A, Nakamura K. Detailed membrane association between mitochondria and surrounding endoplasmic reticulum in mammal cells revealed by three-dimensional reconstruction using focused ion beam scanning electron microscope. 18th International Microscopy Congress .2014.9.7-12（プラハ・チェコ）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕該当なし

〔その他〕ホームページ:

<http://www.med.kurume-u.ac.jp/med/anat2/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 桂一郎 (NAKAMURA Kei-ichiro)
久留米大学・医学部・教授
研究者番号：20172398

(2) 研究分担者

太田 啓介 (OHTA Keisuke)
久留米大学・医学部・准教授
研究者番号：00258401

金澤 知之進 (KANAZAWA Tomonoshin)
久留米大学・医学部・客員准教授
研究者番号：50529518

力丸 由起子 (RIKIMARU Yukiko)
久留米大学・医学部・助教
研究者番号：9036890

東 龍平 (HIGASHI Ryuhei)
久留米大学・医学部・技能職員
研究者番号：70569516

林 篤正 (HAYASHI Tokumasa)
久留米大学・医学部・講師
研究者番号：20341357

(3) 連携研究者 該当なし

(4) 研究協力者 該当なし