

研究分担者

高畑 雅彦・北海道大学整形外科講師
石橋 恭之・弘前大学大学院医学研究科
教授
小澤 浩司・東北大学大学院医学系研究科
整形外科学分野准教授
星地亜都司・自治医科大学整形外科准教授
野原 裕・獨協医科大学医学部整形外科
教授
竹下 克志・東京大学医学部附属病院
整形外科・脊椎外科准教授
吉村 典子・東京大学医学部附属病院22世
紀医療センター関節疾患総合
研究講座特任准教授
大川 淳・東京医科歯科大学大学院医歯
学総合研究科整形外科教授
山本 謙吾・東京医科大学整形外科教授
市村 正一・杏林大学医学部整形外科教授
千葉 一裕・北里大学北里研究所病院
整形外科部長
辻 崇・北里大学北里研究所病院
整形外科副部長
松本 守雄・慶應義塾大学医学部整形外科
准教授
中村 雅也・慶應義塾大学医学部整形外科
准教授
岩波 明生・慶應義塾大学医学部整形外科
助教
山崎 正志・筑波大学医学医療系学部
整形外科教授
持田 讓治・東海大学医学部外科学系
整形外科教授
遠藤 直人・新潟大学医学部整形外科教授
川口 善治・富山大学医学部整形外科
准教授
土屋 弘行・金沢大学医薬保健研究域
医学系整形外科教授
内田 研造・福井大学医学部器官制御医学
講座整形外科学領域准教授
松山 幸弘・浜松医科大学整形外科教授
今釜 史郎・名古屋大学整形外科講師

藤原奈佳子・愛知県立大学看護学部大学院
看護学研究科看護管理学教授
森 幹士・滋賀医科大学整形外科講師
藤林 俊介・京都大学大学院医学研究科
整形外科講師
吉川 秀樹・大阪大学大学院医学系研究科
器官制御外科学（整形外科）
教授
米延 策雄・独立行政法人国立病院機構
大阪南医療センター名誉院長
吉田 宗人・和歌山県立医科大学整形外科
教授
中原進之介・独立行政法人国立病院機構
岡山医療センター整形外科
部長
田口 敏彦・山口大学大学院医学系研究科
整形外科教授
谷 俊一・高知大学医学部整形外科教授
永田 見生・久留米大学医学部整形外科
教授
小宮 節郎・鹿児島大学大学院医歯学総合
研究科教授
芳賀 信彦・東京大学医学部附属病院
リハビリテーション科教授
須佐美隆史・東京大学医学部附属病院
顎口腔外科・歯科矯正歯科
准教授
片桐 岳信・埼玉医科大学ゲノム医学研究
センター病態生理部門教授
鬼頭 浩史・名古屋大学大学院医学系
研究科総合医学専攻運動形態
外科学准教授
中島 康晴・九州大学大学院医学研究院
整形外科准教授
神園 淳司・北九州市立八幡病院小児科
部長
池川 志郎・理化学研究所骨関節疾患
研究チーム チームリーダー
進藤 重雄・九段坂病院整形外科部長

（以上 敬称略）

A. 研究目的

脊柱靱帯骨化症に対する根本的治療は未だ存在しない。研究班では、疫学調査、ガイドライン策定、ゲノム解析、基礎/創薬研究、診断・評価、多施設臨床研究、新規画像評価、進行性骨化性線維異形成のサブグループを構築して研究を推進し、我が国の疫学データ構築、診断・治療体制を確立することを目的とする。

B. 研究方法

後縦靱帯骨化症；OPLL および
黄色靱帯骨化症；OYL

1) 疫学調査

研究靱帯骨化症の有病率を把握するために、これまでに一次調査および画像検査を終了している一般住民コホート（1690人；男性596人、女性1094人）を用いて、追跡調査を行うことでOPLLおよびOYLの有病率の推移・期間発生率・有病者の予後・増悪率・予後関連因子の検討を行った。また胸部CT受験者3013名によるOPLL、OYL有病率調査を継続し、その結果を解析し新たな分類を提唱した。

2) 遺伝子解析

研究分担施設でOPLL患者の兄妹姉妹を調査し、214pairのOPLL罹患同胞対を収集し、患者血液サンプルからgenomic DNAを抽出して全ゲノムをカバーする392子のマイクロサテライト・マーカーをタイピングしノンパラメトリック連鎖解析を行った。さらに絞り込んだ責任遺伝子領域に対し、1500例の孤発症例の採血を開始し、症例対照相関解析を行った。ここで高い相関の得られたDNA多型を含む周辺領域の連鎖不均衡マッピングを行うことにより最終的候補遺伝子を決定する。

3) 多施設臨床研究

OPLL患者の頸髄損傷に関するランダム化比較試験(OSCIS study)を継続中である。搬送後24時間以内に除圧手術を行う早期治療群と受傷後2週間保存療法を行った後に除圧手術を行う待機治療群の2群に分けて前向きに研究を行っている。今後本研究を継続し、症例の登録を継続し治療判定を行う。術中脊髄モニタリングのアラームポイント：振幅の70%の減少をアラームポイントに設定した多施設前向き研究を行った。

胸椎OPLL症例のデータベースの作成およびその手術成績に関する前向き研究をH24年度から継続中である。研究班と患者会との連携による患者の日常生活動作とその支援に関する調査をH24年度から開始し、

患者QOL向上に役立つ実態調査を行った。

4) 基礎および創薬・新規治療法研究

OPLL靱帯組織と骨化を呈しない靱帯組織を蛍光二次元電気泳動法にて、発現タンパク質の発現誘導プラスミドベクターを幹細胞に導入した。同じくshRNAベクターではタンパク質のノックダウンを行い、検証した。幹細胞由来靱帯組織は、mRNA解析、プロトアレイ解析を実施し、パスウェイ解析を行った。

特異的欠損糖分解サイトカイン（特願2009-254357）と靱帯特異的タンパク質（特願2011-239140）の分子相互作用における本疾患の発症機序を解明するために、個別化された幹細胞からin vitroで靱帯組織を形成し、分子標的性を高めた治療製剤を開発する。さらにOPLL治療薬剤を開発するために、OPLL患者血清と健常性血清を比較し、血清プロテオミクスから有意に減少、欠損しているタンパク質を同定し、このタンパク質を抑制したノックアウトマウスを作製しそのphenotypeや骨化のメカニズムを追究する。

5) 画像評価研究

頸椎OPLL患者の術前後にMRI拡散テンソル投射路撮影(DTT)を経時的に撮像し、脊髄圧迫の程度とトラクト線維数とその経時的变化を評価した。診断・治療効果判定として有用かどうかの検討を行った。また、頸椎OPLL患者を対象とし、Multidetector CTを用いて統計移行部から頸椎全般のOPLL骨化巣を1 mmスライスで撮像し、7人の研究班医師に骨化巣の評価を依頼し、分類の検者間の差につき検討した。今後その汎用性の評価検討を行った。

進行性骨化性線維異形成；FOP

1) 臨床研究

典型的FOPの臨床所見とは異なるFOP variant症例の病歴調査、臨床所見の検討を行い、遺伝子診断を行った。また、開口障害と口腔ケアに関する実態調査をアンケートで行っている。

2) 基礎研究（片桐岳信）

FOPで発見されたALK2変異体を発現したトランスジェニックマウスを樹立し、その機能解析を行った。また既知の薬剤のもつオフラベル効果を、ALK2変異遺伝子を導入した細胞株を用いて骨芽細胞分化抑制能の評価を行った。

(倫理面への配慮)

遺伝子研究に関しては、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針(平成16年文部科学省・厚生労働省・経済産業省告示第1号)」に従う。検体の提供に関しては、「手術等で摘出されたヒト組織を用いた研究開発の在り方について(平成10年厚生科学審議会答申)」に従い、インフォームドコンセントを取得し、特に、個人情報の保護に留意する。臨床研究に関しては、「臨床研究に関する倫理指針(平成20年厚生労働省告示第415号)」および「疫学研究に関する倫理指針(平成19年文部科学省・厚生労働省告示第1号)」に従い、かつ個別に倫理委員会の承認を得ている。

C. 研究結果 および D. 考察

後縦靭帯骨化症; OPLL および

黄色靭帯骨化症; OYL

1. 疫学研究

ベースライン調査において、頸椎X線でOPLL所見を認めたのは30人(男性17人、女性13人)で有病率は1.9%(男性3.2%、女性1.3%)であった。OPLLの罹患部位で最も多いのは、C4(33.3%)であり、タイプ別では連続型(43.3%)が最も多く、次いで分節型(26.7%)、混合型(23.3%)、局在型(6.7%)の順であった。

ベースライン調査において、頸椎X線でOPLL所見を認めず、3年後の調査で新たにOPLLを認めたのはわずか1人(男性0%、女性0.14%/3年)であった。ベースライン、第1回追跡調査いずれにも参加し、初回調査時から

OPLLを指摘された23人(男性14人、女性9人)について、最大罹患部位におけるOPLLの長さ(幅)の測定結果の平均値(標準偏差)の変化をみたところ、長さは平均1.7mm(27.7mmから29.4mm)に増加し、幅も0.5mm(3.1mmから3.6mm)増加していた。長さ(幅)の変化はベースライン調査時の年齢、性、体格指数、握力、最大罹患部位とは有意な関連を認めなかった。一方、約3000例の胸部CT検査結果から求めた胸椎OYL、OPLLの有病率は、それぞれ36%、1.9%であった。OYLは男性に、OPLLは女性に有意に多かった。OYLにおいては、CTでのOYLの形態を詳細に検討し、新たな形態分類を提唱した。

2. 遺伝子解析

各サンプルについての、診断、臨床情報に関するデータシートを吟味し、診断(OPLLの同胞であること)が確定し、付随する

臨床情報(年齢、性別、BMI (Body Mass Index)など)が完備している196家族、214同胞対を選んだ。これを用いて、全ゲノムをカバーする392個のマикроサテライト・マーカーをタイピングし、non-parametric linkage analysisを行なったが、有意な連鎖を示すマーカーはなかった。

そこで、症例のinclusion criteriaを厳しくして、同胞が共に2椎間以上の頸椎OPLLを持つ同胞対に限って解析を行った。その結果、染色体1p21、2p22-24、7q22、16q24、20p12の5つの領域で有意な連鎖を認めた。

さらに、本研究班の専門医がOPLLと診断した1550例中単純レントゲン上確実なOPLL症例1112例に関して採血サンプルからgenomic DNAを抽出し、6810例の対照サンプルのgenomic DNAを用いて全ゲノムレベルでの関連解析(genome-wide association analysis: GWAS)を行った。新たに8番、12番、20番染色体内の6つの疾患感受性遺伝子座部位を同定した。今後はこれらの機能解析を共同研究で行っていく方針である。

3. 多施設臨床研究

OSCIS study 現在37施設が参加し、これまでに頸髄損傷625例が登録されており、このうち75例がプロトコルの適格基準を満たしていた。合併症などにより24時間以内の手術が困難な症例を除外し、実際に同意を得て試験に参加した症例は23例であった。なお、本プロトコルを論文として発表した(Trials 2013)。振幅の70%低下をMEPのアラームポイントと定め、モニタリング総数1333例の多施設前向き研究を行い、感度

95%、特異度92%と良好な精度が得られた。

False negative例は振幅54%と52%だけ低下した髄内腫瘍の症例であった。False negative例からは髄節障害・脊髄障害と髄内腫瘍手術ではアラームポイントが異なる可能性が示され、今後は疾患ごとに分けて詳細に調査を行うことが必要と思われた。

登録された胸椎OPLLの症例は35例(男性19名、女性16名)で平均年齢54歳、BMIは30であった。後方除圧固定術後、一定の症状回復は得られたものの、術後運動麻痺や感染など合併症も問題であった。脊髄の除圧が良い方が臨床成績もよい傾向があるが、一方で手術侵襲が大きくなる。至適な治療法確立にはさらなる研究が必要と考える。

回収された質問紙は、患者用が806名分と同居者が600名分であった。このうち、患者と同居者のペアが562組であった。患者が「介助してほしいが自力でおこなっている」動作としては、階段の下りが最も多く19.2%であった。患者の質問紙への自由記載内容については、「痛み」の記載が最も多かった。患者の社会資源利用に関しては、特定疾患医療受給者証の受給者は62.6

%、身体障害者手帳保持者は33.2%、難病患者等居宅生活支援事業(市町村)の利用は7.7%、訪問看護の利用は6.2%、ホームヘルプサービスの利用は7.5%であった。これらの結果をもとに、患者・同居者の支援体制の再考・充実を図るべきである。

4. 基礎および創薬・新規治療法研究

後縦靭帯骨化症、健常者靭帯組織に共通した靭帯特異的なタンパク質を抽出し、幹細胞に導入した結果、靭帯組織に分化することが分かった(Stem Cells Development 2013)。幹細胞由来靭帯様組織の fluorescence in situ hybridization : FISHによる骨融合を行った結果、染色体に取り込まれ、骨融合し、動物実験において靭帯断裂組織は、このプラスミドを導入後1週間後にはコラーゲン繊維の再生を確認できた。一方血清プロテオミクスからは、健常者と比較し、有意に減少、欠損しているタンパク質があった。このタンパク質は分節型より連続型においてより低値を示していた。このタンパク質を抑制したノックアウトマウスを作製し解析したところ、3週齢以降、体重増加すると共に、脂肪の蓄積が通常マウスと比べて多いことが分かった。成長と共に靭帯骨化が生ずること、糖尿病を併発することが分かった。現在本結果は論文投稿中である。

5. 画像評価研究

過去に脊髄半切モデル(Fujiyoshi et al, J Neurosci 2007)や末梢神経切断モデル(Takagi et al, Neuroimage 2009)を用いて拡散テンソル投射路撮影(DTT)を行い、その有用性を報告してきた。本法を利用して、Twyマウスに対して経時的なDTTを施行するとともに、最終撮像後に組織学的検討を行ったところ、骨化による脊柱管狭窄率と脊髄横断面積に負の相関を認めた。DTTの解析でTract Fiber比を定義し(最狭窄部の

Tract数/頭側非圧迫部のTract数)、Tract Fiber比とRT-97などの神経線維陽性面積に有意な相関を認めた。さらに、折れ線回帰解析により脊柱管狭窄率が約50%を超えるとTract fiber比が急速に低下することが明らかになった。一方、臨床研究では片開き式脊柱管拡大術を行った頸椎OPLL患者45名に対して術前後のDTTを比較した。脊柱管狭窄率と術前Tract Fiber比に負の相関を認め、非線形回帰分析では脊柱管狭窄率が40%を超えるとTract Fiber比が低下する症例が増加した。脊柱管狭窄率とJOA scoreの間にも負の相関を認め、非線形回帰分析では脊柱管狭窄率が60%を超えるとJOA scoreが低下する症例が増加した。脊柱

管狭窄率が40-60%の間にサブクリニカルに脊髄内投射路の障害が進行している可能性が示唆された。一方、CT分類のほうに関しては、頸椎OPLL患者で外来を受診した144例(男性90例、女性54例)に対して、骨化巣と椎体間の架橋に注目したA分類とaxialの分類、骨化のあるレベルを記載するB分類を定義し、7人の検者間および検者内の一致率を分析したところ、検者間の一致率は 0.43 ± 0.26 であり、検者内は、 $72.4 \pm 8.8\%$ であった。本分類は妥当性があると考えられ、今後全国的に汎用させていきたいと考えている。本結果は現在投稿中である。

進行性骨化性線維異形成; FOP

1. 臨床研究

関連学会に対してFOPの有病率に対するアンケート調査を行い、患者数は90名であることが分かった。日本の人口は1億2千万人なので、有病率は152-213万人に一人と推計でき、これは海外の200万人に一人というデータに一致した。患者は平均3.3の診療科を受診し、専門家のいる大学病院などに集中していることが示唆された。研究班活動により、早期診断患者が増えている可能性があり、今後も患者データベースの構築、早期診断された患者に対する適切な指導、サポート体制を構築する必要がある。一方、FOPの代表的な臨床所見として、出生児よりの母趾の形態異常と、10歳頃までに進行する筋組織での異所性骨化が挙げられているが、これまでFOP診断の指標として考えられてきた母趾の形態異常のない、典型的なFOPの症状とは異なる表現型を呈したFOPの2症例を経験し、これらが新規mutationのFOP variantであることが分かった。これらの症例の報告を論文投稿中である。さらに、FOP患者18例の頸椎レントゲンを解析し、細長く高い頸椎椎体および棘突起の肥厚が幼少期から認められることが分かった。また、開口障害と口腔ケアに関する実態調査をFOP患者にアンケート調査中である。

2. 基礎研究

FOP症例から同定されたALK2変異体は、典型的なR206H変異だけでなく、遅発性症例のG325A変異体もBMPのII型受容体によって活性化された。この活性化は、ALK2の変異部位によって異なるII型受容体に依存する可能性が示唆された。また、II型受容体によるALK2のリン酸化が、細胞内情報伝達系活性化の機序と考えられた。典型的FOPのALK2(R206H)を発現するトランスジェニックマウスの樹立に成功した。このマウスから調整した細胞は、Cre遺伝子組み換え酵素依存的にヒトALK2(R206H)を発現し、細胞内でBMPシグナルを活性化し、骨格系細胞に分化した。従って、本トランスジ

ェニックマウスは、FOPの異所性骨化に対する治療薬候補物質の評価や発症機序の解析のための有用な新しい病態モデルになると考えられる。

E. 結論

本研究班では、疫学調査、遺伝子解析、多施設共同研究、基礎研究などを推進し、3年間で実に多くの知見を得ることができた。OPLLおよびOYLに関しては、疫学研究では初回ベースライン調査により、有病率と好発高位を示すことができた。さらに、その3年後の追跡調査を比較することで、新規OPLL患者がわずかに1690人中1人であったこと、初回調査時にOPLLを指摘された無症候性

OPLL患者23人において、3年後OPLLは増加していることが分かった。また、新たに胸部

CT受験者3013名による有病率調査を行い、胸椎OYLやOPLLの年代別の発生頻度や高位別頻度を示すと共に、OYLにおいては新たなCTでの形態分類を提唱した。

遺伝子解析では、214 pairのOPLL罹患同胞対の解析をtightに行うことで、染色体1p21、2p22-24、7q22、16q24、20p12の5つの領域で有意な連鎖を認め、さらにOPLL患者1112例のGWAS解析により、6つの疾患感受性遺伝子座部位を同定した。また、多施設臨床研究では1) 頸髄損傷後の手術に関する前向き比較試験 OSCIS study を開始し、これまでに頸髄損傷625例が登録され、うち23例が割り付けされている。2) 術中モニタリングのアラームポイントに関する研究では、MEPのアラームポイントを振幅の70%低下と定め、多施設で959例の前向き研究を行い、その良好な精度と安全性を示すことができた。3) 稀少な胸椎OPLLの手術成績を多施設でまとめ、術前後の神経症状の回復の程度や合併症につき検討し報告することができた。

4) 全国脊柱靱帯骨化症患者家族連絡協議会と連携したアンケート調査研究を通じて、OPLL患者が最も不安を感じる日常生活動作を理解すると共に、患者の社会資源利用の状況を把握することができた。

基礎研究においても、脊柱靱帯由来幹細胞の局在や性質についてさらに詳細な検討を加え、靱帯組織発現のメカニズムについても解析を行った。また、OPLL患者由来の血液を用いて骨代謝動態を行い健常人と比較した。画像解析でも、OPLL骨化巣をCTデータを用いて新たに解析し、新しいICT分類を提唱することができた。またDTTを用

いた新しい画像解析法を開発し、ヒトOPLLの評価として応用することができた。

進行性骨化性線維異形成症(FOP)に関しては、臨床研究ではまず大規模なアンケート調査により、日本におけるFOP患者数と有病率を出すことができた。同時に新たなFOP

variant症例を検討し、遺伝子診断の結果、世界第2例目となるL196P (587 T>C) mutationを同定した。また新たにFOP患者の頸椎レントゲン上の特徴を発見し、診断基準の一助とした。

基礎研究では、筋損傷に伴う異所性骨化のメカニズムについて、マウス筋損傷・再生モデルを解析し、FOPのR206H変異ALK2が、BMP II型受容体によるリン酸化と活性化を受けやすいことが、FOPの異所性骨化の原因であるのではないかと考察すると共に、FOPの病態モデル(トランスジェニックマウス)を樹立し、FOPの異所性骨化発生の機序に迫った。以上の新たな知見は、いずれも

OPLLおよびFOPの有効な診断・治療の確立に繋がる成果であり、本研究班のスケールの大きさを生かした、多施設での研究体制の連携によって初めて為し得た成果である。今後も、各サブグループで現在進行中のプロジェクトを引き続き推進し、基礎的アプローチによる病態解明と臨床的アプローチによる臨床データの集積を行いながら、OPLLおよびFOPの診断・治療体制の構築を目指して研究を継続していく方針である。

F. 健康危険情報

特記すべきことなし

G. 研究発表

別紙

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

・平行線維性結合組織の製造方法
国際出願番号：PCT / J P 2013 / 56867 ;
津留美智代、永田見生、出願人：津留美智代、永田見生；出願日：2013/3/12

・特願2011-239140 平行線維性結合組織の製造方法 発明者：津留美智代、永田見生
出願者：学校法人久留米大学

・特願2010-096330 脊椎疾患診断支援装置、および脊椎疾患診断支援プログラム

発明者：岡敬之、吉村典子、阿久根徹、川口浩、中村耕三 出願者：国立大学法人東京大学

・特願2009-254357 脊柱靱帯骨化症のマーカペプチド 発明者：永田見生、津留美智代 出願者：学校法人久留米大学

・特願2012-064340 癌転移マーカー及び癌転移の診断方法 発見者：津留美智代、永田見生 申請者：津留美智代、永田見生

・特願2010-276579 椎弓根プローブの刺入を支援するガイド 発見者：中村孝志、竹本充、藤林俊介 他

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし