

一般整形外科・労災医療とリハビリテーション医学の進歩

岡崎 裕 司

I はじめに

医療技術の進歩は常に最新科学技術の進歩とともに歩んできている。遺伝子解析から遺伝子治療、組織再生などの分子生物学の進歩やIT・コンピューター技術の進化・進歩とは切っても切れなものであり、整形外科・労災医療やリハビリテーション医学も例外ではない。

特に整形外科、リハビリテーション科とも運動器を対象とする診療科であるため、変わらぬ日常生活動作の獲得と維持が最終目的である。すなわち、外傷後などの運動機能障害後の早期離床、就業・社会復帰を図り、介護を必要としない生活を患者とともに努力し、どれだけ獲得しうかがが命題となっている。その意味では、高齢化社会を迎え、高血圧や糖尿病など定量的診断が可能な疾患に関与する“メタボリックシンドローム”に比して、いまだ認知度の低い運動機能障害のために要介護となる、日本整形外科学会前理事長中村耕三¹⁾提唱の“ロコモティブシンドローム”の概念の浸透をはかり、これまでの定性的な評価であった身体能力、運動器機能の維持と回復をいかに定量的に評価、診断、治療を行うかが第1の目標である。そして、高齢化社会における寝たきり患者の大きな原因でもある骨折を起こさない、怪我をしない環境作りという第2の目標がある²⁾。これらは予防医学的側面をも持っている点がより重要でもある。

ここでは、これまでの外傷治療を含めた整形外科の歴史的背景を知り、一般整形外科・労災医療

とリハビリテーション医学における現在の治療の最前線の状況を把握し、さらに将来に対する展望を述べていくつもりである。

II 外傷学的創傷治療の歴史

悲しむべき事ではあるが、アメリカの医学歴史研究者であるJhon Fultonは、「医学の偉大な進歩の多くは、戦争という極限状態の中で医療を行った医師たちよりなされた」と“Medicine, Warfare and History”の中に記載した³⁾。特に創傷治療は、戦傷者という悲惨な戦争副産物の治療方法として生まれ、武器の進歩により創傷の重症度が進み、人間の持つ自然治癒力を越えた創傷の重症化が死を意味した時代から、徐々に科学・医療の発達とともに発展してきた。

創傷治療に関して、かのギリシャの医聖Hippocratesでも、その時代においては「創は化膿して治癒する」と考えていた。また、切断を要する場合は止血が技術的に困難であったので、壊死して黒くなった部分での切断を勧めた。

中世での戦傷者の創は、火薬の毒素で汚染されていると考えられ、創傷処置は残酷にも焼いた鉄棒で創を焼くか、煮沸した油を創にかけていた。そんな中、フランスのAmbroise Paré⁴⁾は、「組織侵襲は最小限に」と、熱くない油や蜂蜜などで新たな治療を試みていたが創処置に関しては無知な時代であったことは変わりなかった。しかし、理髪師外科医出身でも教養のあるParéは、Hippocrates以降それまでの切断術が、出血の防止不能な危険な手術であったところに、初めて血管結紮

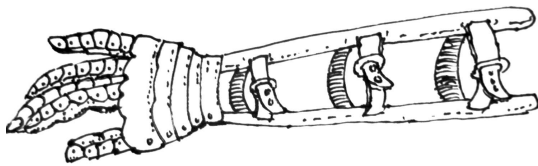


図1 Paréの義手（著者画）

術を導入し、切断術における安全性を格段に進歩させたのは1552年のことである。その後、1869年にドイツの名外科医Johann Friedrich August von Esmarch⁴⁾が止血帯を考案し、止血技術はさらに進歩したが、Paréの結紮術の実に300年後のことからも、結紮という手技がいかに外科的に画期的であったかを示している。

切断ができるようになると義肢が必要となり、優れた臨床外科医のParéは鉄製の義手を作成している（図1）。これは切断された騎士が使用されたと伝えられている¹⁾。下肢の義肢の進歩はその後大きく発展し、パラリンピックにおける選手の活躍は記憶に新しいところである。上肢特に、義手に関しては指の精巧な運動が要求されるため満足の行く義手の出現には時間を要していたが、近年筋肉の発する電気刺激を拾ってある程度意志にそった動きが可能な筋電義手が現れたことは下肢の電動義足とともに後述する。

一方、創傷治療の最大の敵は感染症である。これは時代を超えて“感染”は今日においても変わらない現実があり、治療方法や新薬の開発、使用などによる感染症の減少とともに、抗生物質が効きにくい耐性菌であるMRSA（Methicillin-resistant Staphylococcus aureusメチシリン耐性黄色ブドウ球菌）やMDRP（multi-drug resistant Pseudomonas aeruginosa多剤耐性緑膿菌）などの出現が、新たな社会問題となっている。

さて、感染症をある程度減少せしめたのは、公衆衛生の整備、消毒法の普及、細菌医学の進歩であった。実際に感染症管理が行えるような状況は、19世紀後半に入ってきてからであった。Ignaz Philipp Semmelweis³⁾は、産褥熱が赤子を獲る前の医者の手洗いによって予防できることを

報告したことは画期的であり、現在の医療にも通じる院内感染予防の大原則である。1863年のフランスのLouis Pasteur³⁾が「汚染と腐敗」の研究・考察を示し、ドイツの医師・細菌学者Heinrich Hermann Robert Koch³⁾は細菌培養法を確立し、次々に炭疽菌、結核菌、コレラなど細菌が病原体であることを発見したことに続いた出来事であった²⁾。

また、1867年にイギリスのJoseph Lister⁴⁾は、「術後の創傷の化膿は細菌による汚染である」と考え、術野や手術用具を石炭酸による消毒法を行うことで術後の敗血症を激減させた。

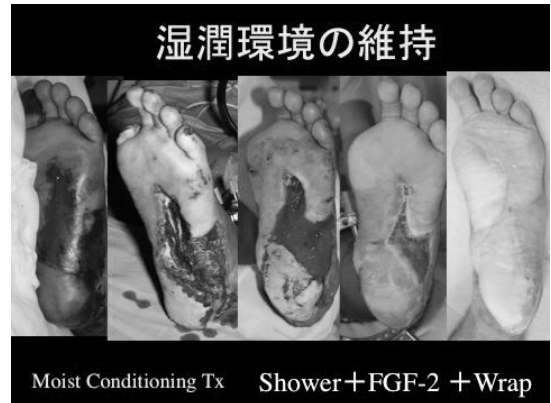
そして、新たな治療への革新は、1929年のAlexander Flemingが発見した「ペニシリン」の報告に基づいた化学療法の幕開けである。1940年にHoward Walter FloreyとErnst Boris Chainが抗生物質として「ペニシリン」の治療効果と化学組成を明らかとし、1945年には第二次世界大戦で使用できる工業生産に成功している。また、当時は致命的疾患であった結核にも利用された初めてのアミノグリコシド系抗生物質の「ストレプトマイシン」は1943年に抗生物質antibioticsの名付け親Selman Abraham Waksmanとその弟子Albert Schatzによって単離され、多くの抗生物質が誕生してきた。

また、日本の北里柴三郎³⁾は1890年に破傷風菌抗毒素を発見し、世界中から注目された。破傷風トキソイドによる破傷風発症予防は劇的であった。南北戦争における破傷風による死亡率は90%であり一回接種の第一次世界大戦では50%の死亡率と半減した。第二次世界大戦ではほとんどの兵士が予防接種を二回受けデブリードマンの発達（後述）とともにほとんど0%になった点でも特筆すべき出来事であった。また、感染がらみでは、整形学的には、脊髄性小児麻痺といわれたポリオの最初の治療薬であるJonas Edward Salkによるポリオウイルスのホルマリンによる不活化ワクチン、「ソークワクチン」は1955年にアメリカで使用許可され、日本でも1961年から国産化された予防接種が行われ、1970年代以降激減していった。

感染症対策だけではなく、1916年にクエン酸ナ

トリウムの発見による輸血療法の発達³⁾や、その後の輸液療法の発達、1916年に開放性大腿骨折の死亡率が80%から16%へと激減したThomas splint⁴⁾の使用も外傷治療の画期的な治療法であった。また、戦場で負傷した患者を治療可能な場所まで搬送する手段と時間との戦いは、南北戦争時代は収容に二日を要し、第一次世界大戦では10～18時間に改善された。しかし、第二次世界大戦でもまだ6～12時間を要した。その後、1950年にMASH (Mobile Surgical Hospital) が外傷センターの原型となり、1954年には“Prehospital Care”と“Hospital Care”の整備が進み、朝鮮戦争では4～6時間での搬送が可能となり、ベトナム戦争では1～2時間での収容が可能となり、ヘリコプターでは15分で搬送収容され、アメリカ本国内で事故に遭うよりも早く搬送されると揶揄される程、戦傷者救命率などが格段に改善した³⁾。

創傷処置法の変遷も前述の野蛮な治療から感染への注意が払われるようになった。18世紀にフランスで行われていたデブリードマンはその後忘れられていたが、ベルギーのAntoine Depage³⁾によって「新デブリードマン」として感染の疑いのある場合一期的に縫合せず、汚染・壊死組織の除去を行い、創縫合を遅延させて感染率を著しく低減させ、広く行われる様になり、創傷の管理がある程度できるようになったのは20世紀に入ってからのことであった。1962年には創傷は乾燥させずに湿潤環境で治癒する報告がされ、1970年には湿潤環境では創周囲から上皮細胞が移動して再生されることが示された。この湿潤療法は、1980年代に、湿潤環境を保ち、傷を治すという概念でWOC (創傷 (Wound)・ストーマ (人工肛門 Ostomy)・失禁 (Continence))にかかわる看護 認定看護師らによりアメリカから紹介された。しかし、日本ではまだガーゼを伴う治療法が主流であり続けた。本邦でも21世紀の幕開けとともに、この湿潤環境維持療法は賛同する医師らにより急速に普及が図られ、創傷 (特に擦過傷) や熱傷、褥瘡などの皮膚潰瘍に対し、従来のガーゼと消毒薬での治療を否定し、「消毒をしない」「乾かさない」「水道水でよく洗う」を3原則として行う治療法として



(シャワーによる自己洗浄とFGF-2噴霧にラップと浸出液を吸収する生理用品などでカバーして消毒、植皮など行わずに治癒。自験例)

図2 湿潤環境維持療法

普及してきた。

創部の被覆材の発達や湿潤環境維持療法の拡大使用と、さらに現在では分子生物学的発展のおかげでサイトカインの一種類である塩基性繊維芽細胞成長因子 (Basic Fibroglrowth factor: b-FGF, FGF-2) の噴霧を併用することでさらに短期間に皮膚潰瘍の治療が可能となった (図2)。なお、この薬剤は近々骨折部の骨癒合促進にも著効し、日本で認可が下りて使用可能となることは朗報である。

III 整形外科の歴史とリハビリテーションとの関係

17世紀、リヨンの商人の息子から教員を経て苦勞して内科医となり、小児の疾患に興味を持ち、小児の栄養や骨格の研究を進めたNicolas Andry⁴⁾は、真実で真直の意味であり、変形の無い正しい型を表すOrthoと小児を表現されるpédieを合わせて「Orthopédie」の新たな言葉を作りこれを2冊の書物「L' Orthopédie」として1741年に記した。この本のなかにある人体の変形矯正も植物と同様に考えていることを表したことで有名な絵は、現在では整形外科学会のシンボルマークとなっている。¹⁾

この「Orthopédie」を百余年前に初めて「整形外科」と銘記したのは日本における整形外科の開祖である田代義徳東京大学初代整形外科教授(1906年)であった。当時の医療は骨関節結核には穿刺・ギプスベッド、先天性股関節脱臼に対しては整復・固定・マッサージ、内反足に対してのマッサージとギプス固定と保存的治療が主な治療で、手術的なものとしては麻痺性疾患に対する腱移行術であった。田代は1926年には日本整形外科学会を創立し初代会長となった。

Andryの保存的治療に頼った整形外科から外科的手術を行うことで変形矯正を施行する整形外科へと転換したのはドイツのGeorg Friedrich Louis Stronmyer⁴⁾であった。尖足変形に対するアキレス腱の皮下切腱術をJacques-Mathieu Delpech⁴⁾が行っていたが当時は出血や化膿で死亡することもあった。これをStronmyerは極めて小さな皮切で切腱する方法を開発し、1838年に一冊の本にまとめている。

このStronmyerに手術を受け尖足が治り感銘を受けやがてイギリスの整形外科の先達となったWilliam John Little⁴⁾の存在は大きかった。Littleは皮下切腱術をイギリスに導入し、イギリスで初めて整形外科の書物を出版し、イギリスの整形外科学の発展に寄与した人物である。また、整形外科の専門病院を建設し、四肢、脊椎疾患の治療法の研究を行い、Royal National Orthopaedic Hospital設立の基礎を築いた。Littleは脳性麻痺など神経疾患等を多く扱った整形外科医であったが、イギリスでのもう一つの大きな整形外科の潮流の源は、代々のbone-setterより大学を出て医師になったHugh Owen Thomas⁴⁾である。前述の大腿骨骨折でのThomas splintの発案者である。骨折の治療には、牽引のみならず骨折部を安定させることが重要で、固定力に対する理解を深めた意味でも骨折、脱臼治療に大きな足跡を残した。その後イギリスではLittleの次男のErnest Muirhead Little⁴⁾がイギリス整形外科の牽引役としてイギリス整形外科学会初代会長となり副会長がThomasの甥にあたるSir Robert Jhones⁴⁾がその任に当たった。Jhonesは肢体不自由に興味を持ち

療育にも貢献した。第一次世界大戦では世界各国に先駆け整形外科医療を実践し、陸軍少将となり戦傷者の治療を救急医療と一般医療とさらにre-educationとaftercareに分けて考えるべきとした。このre-educationは後のrihabilitationに相当するものであった。¹⁾

Rihabilitationと聞くと医学用語をすぐに連想する昨今であるが、本来の意味は、修道院を破門になった者が許されて再入門することを示す用語から転じて、近代では「無実の罪の取り消し」「名誉の回復」を意味するようになり、刑務所の囚人が刑期を終えて社会に出るときに用いられる法律用語「犯罪者の社会復帰(更生)」となっていた。

そして、このrihabilitationは、アメリカのFred Houdlett Albee⁴⁾が1918年に戦傷者の社会復帰に開設したRiconstruction and Rihabilitation Hospitalの名前に用いて、法律用語を医学領域に持ち込んだ最初と言われている。

IV 骨折治療の変遷

整形外科医にとって骨折の治療は最も重要度の高い治療対象である。骨折の治療といえばギプス包帯固定が非観血的治療すなわち手術を行わない保存的治療の代表選手である。包帯に石膏の粉末を浸みこませた石膏包帯ギプスの使用を1852年に発表したのはオランダの軍医Antonius Mathijsen⁴⁾であった。その後、ギプス包帯固定による長期固定は関節の拘縮をもたらすなど色々な弱点を持つが、時代の流れとともに利点が優り、その限界が知られた上で広まって行った。現在では軽量で通気性が良く、水で簡単に、短時間で硬化するプラスチック製のギプス包帯が主流となっている。

ギプス包帯固定の限界がより明らかとなり、前述のListerの制腐手術の普及に伴い、骨折を外科的に金属の螺子で内固定しようとした人物達があった。その代表はイギリスのWilliam Arbuthnot Lane⁴⁾とベルギーのAlbin Lambott⁴⁾であった。しかし、体内において当時の金属は異物としては有害なものであり、金属の腐食と感染の問題が生じていた。そこでLambottは創外固定器も開発

し、長期間体内に金属を入れることができない時代に炎症や感染が発生したら容易に抜去できる創外固定法を考案作成し、その有効性を示した。現在のハーフピンを使用する創外固定器はLambottの創外固定器と基本的には同じで現在の創外固定器の原型である¹⁾。

そして、より耐蝕性の高い金属を求めて、1922年ドイツのKupp社が生体内に埋入可能な18-8ステンレスを開発し、1926年に18-8ステンレスにモリブテンを加えた合金が腐食し難いものとなり、1929年にはコバルト、クロモニウム、モリブテンの非鉄合金のVitalium[®]が造られ、1936年にはVitalium[®]製螺子が臨床応用された。これらの金属技術の発達で内固定は発達し、創外固定法は一次的に衰退していった。

不銹鋼の開発は、ノルウェー生まれでアメリカにて活躍したMarius Nygaard Smith-Petersen⁴⁾は三翼釘を考案、それを用いて大腿骨頸部骨折の治療を行い、素晴らしい成績を1931年に発表した。この三翼釘は後にスウェーデンの彼の友人Sven Jhonssonが現在のガイドピンの発想となるKirschner鋼線が通る三翼釘の中心に細い孔を開けた。Kirschner鋼線を先に大腿大転子部より頸部に向かって刺入し、これをレントゲンで確認し、この鋼線をガイドに三翼釘の中心孔に通し、三翼釘を打ち込み、より適切な位置に三翼釘を固定することが可能となった¹⁾。

ドイツのGerthard Küntscher⁴⁾はこの三翼釘をヒントにMarknagelung（髄内釘）を考案、1940年に発表した。このKüntscher髄内釘治療は大腿骨骨折治療成績を向上させ、第二次世界大戦とともに骨折の治療方法は進歩した¹⁾。1972年には回旋防止様の横止めスクリューを打てるGrosse & Kempf System[®]という横止め式髄内釘が生まれ、髄内釘手術の適応の拡大に大きく貢献した。この髄内釘の発想は「骨折＝動くもの」に剛体を副えることで安定化させること」すなわち“Splinting”という考え方のうちintramedurally splintingに当たるものであった。後述する残りの二つの“Splinting”はプレートによるextramedurally splintingと、創外固定によるexternal splintingが

ある。

金属の腐食性の問題でのさらなる発達は、歯科領域でのインプラント（義歯）研究の発達に負うところが大きい。1952年にスウェーデンのPer-Ingvar Brånemarkは“Osseointegration”という骨とチタン骨組織が拒否反応なしに結合することを発見し、1962年から人間へ使用された。チタンおよびチタン合金の長所は生体親和性と比強度に優れ、耐蝕性にも優れ、軽量であることである。短所は摩耗に弱く、加工が難しいことであった。その後、冶金・加工技術の進歩とともにチタン・チタン合金は整形外科分野でも広く応用されることとなり、螺子やプレート、人工関節など体内への挿入物として揺るぎない確固たる位置を得ている。また、ジルコニアというチタンと同種の金属は摩耗に強く人工関節の摺動面にアルミナとのセラミックとして利用したり、人工関節の摩耗に対しての改善策の一つとなっている。

一方、プレートによるextramedurally splintingとしては、「生（life）あるとは、すなわち活動すること（movement）である。活動することは、また生である。」の基本理念のもと、骨折治療の四つの原則すなわち「解剖学的整復」、「安定した内固定」、「血行の維持」、「早期無痛性授動」を提唱したスイスのMaurice Edmond Müllerらは、内固定問題研究グループ（ASIF: The Association for Study of the problems of Internal Fixation）を1958年に創設し、強固な絶対的固定によるAO（Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen）法は世界を席卷した。この方法の利点は、強固な固定による「早期リハビリの実現」、「解剖学的整復とその維持」、「implantへの負荷低減」であった。弱点は手術時の骨折部を大きく展開し骨膜などの軟部組織を損傷することや、プレート直下に骨萎縮が起り再骨折などの合併症などであった。

その後、このDCP（Dynamic compression plate）による強固な絶対的プレート内固定法はその弱点を克服するために生物学的なFlexible Fixationという相対的固定法へとそのコンセプトを変革、転換して行った。Biologicalな相対的固定

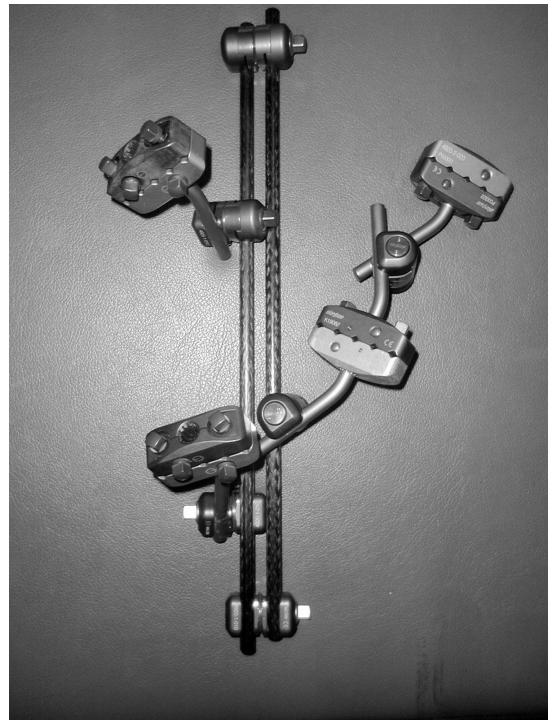
とは、創内に創外固定を入れるという発想で、実際にはプレートとスクリューを固定（ロックング、創外固定化）することで骨への固定性を安定化させるLCP（Locking compression plate）への進化であった。このLCPの長所は骨折部周辺軟部組織の温存、仮骨を伴う骨癒合、再骨折riskの低減、短所は再転位や変形、負荷集中によるimplantの破損、術中の透視装置の多用などである。

LCPを用いたextramedurally splinting法は、最小侵襲プレート固定法、すなわちMIPO（Minimally Invasive Plate Osteosynthesis）法を導入することでより閉鎖的に骨膜など軟部組織の損傷を最小限とする、より生物学的なFlexible Fixationが可能となった。また、非関節面の骨折、骨幹部、骨幹端部の“多骨片骨折（粉碎骨折）”に適応を持つBridging plate（架橋プレート）法はさらにLCPの適応範囲を広げ、Biological Flexible Fixation的extramedurally splinting法は進歩を遂げた。

第三の“Splinting”は、創外固定によるexternal splintingである。創外固定の歴史は古く、1853年にフランスのJoseph-François MalgaigneがDuplay Emanuel Simonと爪形の創外固定を考案し、膝蓋骨の骨折を圧迫固定する目的で使用した。前述したようにLambottをはじめ創外固定器の歴史は科学技術の発達と医療の歴史を考える上で意味深いものがある⁴⁾。

現在も受け継がれている創外固定器としては、1938年にスイスのRaoul Hoffmann⁵⁾が考案し、臨床応用されたHoffmann型創外固定器がある。冠する名前は同じではあるが、時代を越えて幾度もの改良を重ねられた。材質は固定用の棒軸はステンレスからカーボン繊維へ変わり、棒軸とハーフピンを連結するクランプ機能も利便性と固定性を高めて可動域が広がり、体内に挿入するハーフピンも骨を痛めることなく低エネルギーで挿入できるなど進化し、開放骨折のプライマリー固定などにその実力を今なお発揮している（図3）⁶⁾。

1948年に後に人工股関節で名を馳せるイギリスのSir Jhon Charnley⁴⁾は関節固定術を簡単な創外固定器で圧迫固定することを報告し、創外固定の



（自在な組み合わせが可能。著者撮影。）

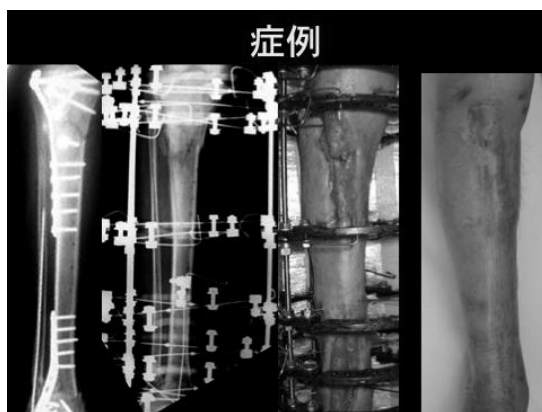
図3 現在のHoffmann II[®]創外固定器

有用性を示した³⁾。しかし、前述のように体内に埋入できる優れた金属の出現と、ピンから菌が侵入し難治性である骨髓炎を惹起する危険からアメリカや本邦では創外固定器の使用は低迷したが、第二次世界大戦後の経済発展とともに交通事故や労働災害などの高エネルギー外傷による開放骨折や粉碎骨折の増加に対する欧州での継続的な創外固定法の研究、治療はHoffmann型創外固定器に代表されるように優れた成績を残し、1970年代後半から1980年代にはアメリカでも創外固定法は急速に普及していった。本邦でも1970年に朝日大学の井上四郎⁵⁾は歯科用セメント（レジン）を用いた廉価で応用・多様性に富むレジン創外固定の発想を得て、国内にとどまらず世界に発信し注目を集めた。また、1980年代に後述のリング型創外固定器のイリザロフ法の導入もあり、1988年には第1回日本創外固定研究会が発足している⁵⁾。

整形外科治療分野における偉大なるブレイクス

ルー、イリザロフ法は1950年代のソビエト連邦時代、西シベリアの小都市クルガンでリング型創外固定器から生まれた。1980年代になって西側世界にも知られるようになったイリザロフ法は、イタリアの著名な冒険家Carlo Mauriの治療の劇的な成功が発端であった。Mauriは、登山で負傷した感染性の脛骨骨折を自国で、10年間に7回もの手術治療を受けたが、下腿の短縮と尖足をきたしていた。ロシアの冒険家の勧めでMauriは、クルガンで“西シベリアの魔術師”Gavriil Abramovich Ilizarovによる治療を受けた。イタリアのLeccoのRobert Cattaneo達はわずか6ヶ月の治療期間で回復させたことに驚愕し、1981年イタリア整形外科学会にIlizarovを招聘し、1982年にはMaurizio A. Catagniら4人のイタリア整形外科医がクルガンを訪れイリザロフ法を修得し、センセーショナルな報告を行い、瞬く間に欧州へ広まった。本邦では1989年に東大の黒川高秀らがクルガンを訪れ、1990年にはIlizarov自身の初来日講演が第3回日本創外固定研究会にて挙行された。大阪市大の山野慶樹会長の共産圏からの招聘における多大なる苦勞の甲斐あって、聴衆達は大きい感銘を受けた⁵⁾。

イリザロフ創外固定器は単純骨折の治療を皮切りに現在では重度開放骨折、粉碎骨折、関節近傍骨折、関節リウマチなど骨粗鬆症性骨折など、いわゆる難治骨折治療には今や不可欠な固定方法となった。また、骨の安定した3次元の自由度のある移動も可能となり軟骨無形性症をはじめとした小人症である骨系統疾患の単純脚延長から四肢・脊椎の変形矯正術、骨切り術後の固定、関節固定術、骨移動術、腫瘍切除後の四肢再建、高度軟部組織拘縮の解除、牽引関節形成術、皮膚延長、血流再建術、感染性偽関節における骨移動術など多岐にわたる応用が整形外科分野で行われている⁶⁾。本邦でも黒川高秀らの片持ち式でイリザロフ創外固定器にせまる矯正機能や世界初の圧センサー内蔵自動延長可能な高機能Hi-Fixator[®]創外固定器の開発、山野慶樹のマイクロ・サージェリーとの融合技術、阪大・徳島大の安井夏生らのCORA (center of rotation of angulation) の概念、



(軽量・レントゲン透過性に優れる。自験例。)

図4 慢性骨髓炎に対するカーボン製Ilizarov創外固定

大阪医大の阿部宗昭らの手の外科領域への導入、東大・帝京大の松下隆らによる難治骨折・偽関節部の粉碎による延長・変形矯正や、東大の中村耕三らによる延長後短縮しながら安全に回旋変形矯正、また、金沢大の土屋弘行らは腫瘍切除後の四肢再建法などを開発し、世界イリザロフ法研究会A.S.A.M.I. (Association for the study and Application of the method of Ilizarov) internationalを通じて世界中に発信された。

イリザロフ法は、それまでの方法では四肢の切断を余儀なくされていた症例が数多く救われ、就業、社会復帰可能となった点でも画期的であった。究極のイリザロフ創外固定器ではあるが、リング型固定器も軽量のカーボン製品(図4)や、1998年Charles Taylorは飛行機操縦訓練用のFlight simulatorに利用されているHexapad deviceをストラット・バーとして使用できるリング型創外固定器を実用化した。6本のストラット・バーにて動かす延長距離や変形矯正角度をコンピューターの計算ソフトで計算し、容易に行えるTSF[®] (Taylor Special Frame[®])⁶⁾を発表し、さらにイリザロフ法の発展をみた。このTSF[®] (Taylor Special Frame[®])の矯正能力の利点は、それまでアナログ、感覚的に行っていた矯正作業をレントゲン写真の角度を読み取りデジタル化し

で定量的により正確、安全に行えるようになった点で画期的であった。本邦でも東大の大西五三男らが開発したUniversal Link System^{®7)}は世界で初めて片持ち式でTSF[®]同様にコンピューターでの計算によって定量的変形矯正が可能である。また、大西らはコンピューターを用いて有限要素法⁸⁾による骨強度測定も行い、再現性に優れた骨強度を定量的に測定できるシステムも開発し、先端医療として認定を受け、骨粗鬆症や変形した骨折部などの骨強度判定に応用している。また、有限要素法はあらゆる3次元計測が可能なので骨密度測定では不可能な骨折予想が可能でロコモティブシンドロームや転倒防止の予防策、また薬物、体操などの骨への効果判定が定量的に測定でき今後の普及が期待される。

TSF[®]、Universal Link System[®]は、コンピューターに支援される作業は手術後の作業であるが、これを術中に応用して手術を行うのが、後述するコンピューターナビゲーションシステムである。

組織の連続性を保ちながら安定して一定方向に張力を加え、維持していくことが可能となった骨軟部組織の欠損治療は、張力の働く方向へ生体組織を人為的に新生・修復することができるイリザロフ原理“low of tension effect”の発見で可能となり、骨のみならず軟部組織も含めたいわば「複合組織形成・再生術」であり、今日話題の再生医療の実践例である。そして、この原理はイリザロフ創外固定器でなくともほかの創外固定器、髄内釘でも一定方向に張力を加えることが可能な器械で応用できる点でも、画期的であった。そこで、著者らは手術を行わずとも張力を与えられるクレンザック継ぎ手付尖足矯正装具を作成し、緩徐に軟部組織の長さを維持することで尖足矯正を行い手術ではないイリザロフ法の新たな応用とした。

牽引distractionのもたらす組織形成術の本質は組織の虚血状態に対する血管新生を含めた血流改善であり、血行の修復・再生である。血流改善の足場に張力ストレスが働き新たな生体細胞の賦活化が組織レベルで生じるのである。新たな展開としては、ロシアでは整形外科分野のみならず脳血管障害の治療にも応用され(図5)、頭蓋骨に欠損



(クルガン・イリザロフセンターにて撮影)

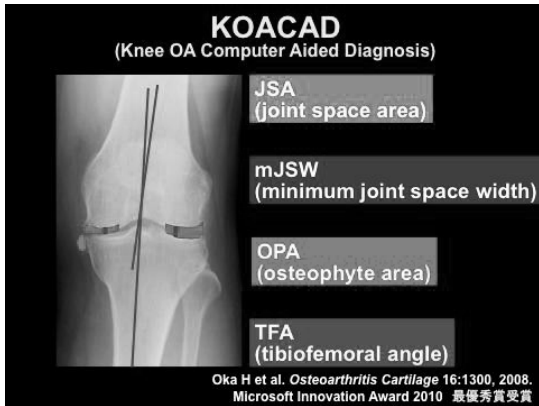
図5 脳血管障害に対するIlizarov法

部を作成し骨移動術を行うことで、これまで修復不能であった脳神経領域の治療へ新たな取り組みもなされている程である。

創外固定の歴史は単なる骨折の固定器として生まれ、今ではイリザロフ法に代表されるその応用範囲は、体外から体内の組織をコントロールできる整形外科領域の技術的躍進に欠かすことのできないツールであることに間違いはない。しかしながら、その使用方法は術後の煩雑な手技や管理、長い治療期間など克服すべき問題点も随時起こってくる。どんな手術でも言えることではあるが、これらの問題点を上手く取り扱うためにも綿密な計画と、正確な実行、そして詳細な観察と適切な処置が必要不可欠であることを理解して行う手技であり興味本位のみで安易に行う手技ではないことを追記する。

V 関節外科・人工関節の歴史

最初に、最近の関節の評価・診断のトピックを記す。関節における老化現象は変形性関節症である。すなわち、関節軟骨が摩耗し、軟骨下の骨が露出し、骨棘が形成されると関節の疼痛や可動域制限が生じてくる。関節可動域は角度計で再現性に多少問題があるが定量的に測定可能である。しかし、軟骨の摩耗の度合いを定量的に測定することは困難で、レントゲン写真を診て医師の経験に



(東大22世紀医療センター 岡敬之博士提供)

図6 KOACAD

基づいてその変形の進行度は分類されてきた。東大の岡敬之⁹⁾は世界初のレントゲン写真で簡易的にコンピューターによる膝関節の定量的な摩耗の程度などを測定可能とした変形性膝関節診断支援システム KOACAD[®] (Knee OsteoArthritis Aided Diagnosis)を開発した。世界中のあらゆる分野で一年間に開発されたソフトの中で最優秀であるMicrosoft innovation Award 2010年を獲得したことは本邦整形外科領域の誉れである(図6)。

さて、変形性関節症に対する手術的治療方法はいくつもある。現在でも足関節などで行われる関節固定術は、疼痛はなくなるが、その可動域が失われる点で不利である。また、昔の関節形成術では、摩耗・変形した関節面を骨軟骨とも切除し、癒着防止に中間膜を挿入する“interpositional arthroplasty”が行われていた。本邦では九大の神中正一らが開発したクローム化した自家大腿筋膜を使ったJK膜があった。

この中間膜にはじまった人工関節の歴史は、股関節においては“mold arthroplasty”, “nail arthroplasty”へと変遷し人工関節全置換術THA (Total Hip Riplacement)と変遷していった。

人工股関節の歴史は、1890年ドイツのThemistokles Gruckが既存の材料の象牙製の骨頭で骨頭置換したことが初めと言われ、これは白蓋側の置換は行わない一種のhemiarthroplastyであった。

三翼釘で前述したSmith-Petersenは、股関節の外傷、老化によって起こる変形に対して1925年に大腿骨頭に“mold arthroplasty”の発想で、中空半球状ガラス片を形成し被せることを開始した。ガラスの生体適合性は証明できたが、歩行には耐えず破損が起これ失敗、その後パークライト等も試していたが成績不良であった。そんな折、同じ表面置換の発想で当時使用可能となったVitallium[®]製のmoldを1942年に使用して、人工関節研究の先駆者となった。数多くの材質の組み合わせやデザインの異なる人工股関節が試みられたが、短期成績は良いが必ずしも満足のいく成績は得られなかった。

最初のTHAは、イギリスのPhilip Wilesが1938年に作成したステンレス製の“Cap & Socket”である。1940年～1950年代には大腿骨頸部骨折用に多くの人工骨頭が開発され単極型(monopolar)のAustin Moor型人工骨頭による人工骨頭置換術が普及した。これを変形性股関節症に用いる人達もいたが、これらもhemiarthroplastyのため数年後には、白蓋底への突出移動する例が多くみられ、骨折治療のみとなった。大腿骨頸部骨折用としてはその後、白蓋側への負担が減るとの戦略で双極型(bipolar)の人工骨頭が開発され今日に至っている。

白蓋側も置換する真の意味のTHAは1950年～1960年代にかけて各種の人工股関節が開発された。寛骨臼側も螺子で固定した金属製のソケットで置換したmetal on metalの人工股関節はMcKee-Farrarが1951年に開発したが、後にloosening(緩み)が起こった。

ターニングポイントとなったのは前述のChrnleyによるTHA^{4) 10)}であった。Chrnleyは1958年Socketをテフロンで作成し、さらに1960年Socketをポリエチレン(HDP: high density polyethylene, 現在におけるUHMWPE: ultra-high molecular weight polyethylene)に変更し、人工関節を骨セメント polymethyle methacrylateで固定し、骨頭径を22mmとした“low friction arthroplasty”の概念を構築した。これにより、人工股関節の成績は飛躍的に向上し、その後の多くの人工股関節

変形性股関節症 人工股関節全置換



(多摩総合医療センター永井一郎医長提供)

図7 右セメントレス人工股関節全置換術

の原型となった。

初期固定に優れたセメント固定であったので、1970年代にはlooseningの問題は少なかった。しかし、1980年代にはいりlooseningが骨とセメントの間に多発するようになり、“cement disease”と考えられ、セメントレスTHAが開発、使用されるようになった。しかし、セメントレスTHAでも早期にlooseningが骨とインプラントの間に生じることから、基礎的研究が進み摺動面から生じる1ミクロン以下のポリエチレンの摩耗粉が貪食される異物反応によって骨吸収が進行するメカニズムが明らかとなった。そのため、セメントTHAではセメント挿入技術の改良が行われた。セメントレスTHAでは各種インプラント表面に多孔性のporous coatingやハイドロキシアパタイトのコーティングを行う改善をみた(図7)。また、摺動面では、金属対ポリエチレンのみではなく、摩耗に強いセラミックス同志やジルコニアなどを利用した第二、第三世代の金属同志の人工股関節が再び臨床使用されるようになってきた。

また、ポリエチレン(PE)そのものの摩耗低減策は、前述のUHMWPEのように分子量の増加や、PEの不活性ガス内での滅菌・保存操作による酸化防止対策とγ線照射による架橋高分子ポリエチレンなどが臨床応用された。そんな中、本邦では、東大の茂呂徹、高取吉雄らのグループ¹¹⁾は、合成リン脂質の2-methacryloyloxyethyl

phosphorylcholine(MCP)重合体(MCPポリマー)をポリエチレン表面に共有結合可能とするナノ表面処理技術の開発を行った。このポリマーは優れた生体適合性を示し、PEの耐摩耗性を飛躍的に向上させ人工股関節の長寿命化に貢献してることが期待されている。

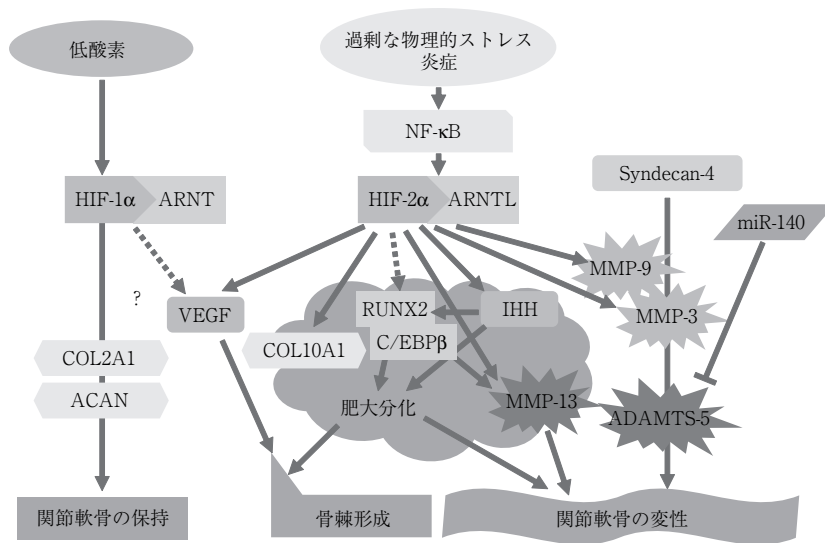
THAの寿命・予後に影響を与えるのは機種を選択だけではなく、術者がいかに正確な位置に人工関節を設置できるかにかかっている。その意味でコンピューター支援手術(CAS:Computer Assisted Surgery)におけるナビゲーションシステム¹²⁾の発達もTHAに欠かせない技術革新であった。

このコンピューターナビゲーションシステムとはコンピューターに取り込んだ画像データをコンピューター画面上に術野の3次元仮想空間として再構築し、術野に設置したプローブの先に取り付けた発光ダイオードを、手術中に赤外線カメラで捕捉し、再構築画面上にその位置や方向を表示して、術前計画に沿った支援・誘導を行うシステムである。人工股関節では臼蓋側のソケットの設置に威力を発揮し、人工膝関節では骨切り術、前十字靭帯損傷の再建術では再建靭帯を通すアンカーホールの設置、脊椎手術では椎弓根スクリューの刺入などに利用されている。今後さらに教育的あるいは難易度の高い症例での術前疑似手術試行も含めCASを利用した遠隔手術など更なる発展進歩の可能性が高い。

変形性関節症に関しては、分子生物学的レベルでの研究も進みノックアウトマウスの作成技術の進歩などで東大の川口浩、齊藤琢ら¹³⁾は、その発症機序の解明で世界をリードしている。手術によらない分子レベルでの遺伝子・薬物治療へ繋がる可能性が十分期待される(図8)。

VI 最近のリハビリテーションのトピックス

リハビリテーションを支える新技術BMI(Brain machine interface)の研究¹⁴⁾の進展は目覚ましい。入力型BMIは外部受容器から脳神経系を刺激することで失われた視覚、聴覚などの五感を補完



Saito T, et al. Nat Med 16 : 678, 2010
 Saito T, Osteoarthritis Cartilage. 18 : 1552, 2010

(東大骨・軟骨再生講座 斎藤琢博士提供)

図8 変形性関節症にかかわる分子

する人工視覚や人工内耳などの「感覚入力の代替」と、筋緊張や不随意運動の調律が可能になった脳深部刺激 (Deep Brain Stimulation : DBS) などの「神経刺激入力の代替」の二種類に分類される。これらの入力型BMIはすでに臨床応用され、単なる身体機能の代替にとどまらず機能拡張の可能性が期待される分野でありニューロリハビリテーションとしても重要である。

一方、出力型BMIは脳の命令 (信号) を、代替機能を持つ機械に伝え制御することで失われた身体機能の補助、代替を得るもので、脳神経活動の信号を脳から直接拾う電極を埋め込む侵襲型と頭皮上で信号を検出するものや、脳波や機能的磁気共鳴画像などを用いて信号を得る非侵襲型に分類される。

ここではまず、非侵襲型の出力型BMIの範疇に入る筋電義手について記す。筋電義手とは残された前腕の筋肉の収縮を筋電信号として拾い駆動装置に伝えて義手の手指の運動を制御するものである。本邦での実状は、作成される義手の約9割は装飾義手である。従来の能動フック型義手に比べ

装飾性、耐用性、静粛性、機能性に優れ十分に実用性のある筋電義手に対しては7割の切断者が筋電義手の装着を希望しているという。ではなぜ、普及が遅れているのか、それはメンテナンス不備や装具自体の重量などの問題もあるが、筋電義手の適応性の評価、判断と処方、適切な訓練環境の提供など人的、施設を含めた体制作りの遅れの問題であった。そこで労働者災害補償保険法では、筋電義手の「研究用支給」制度が延長され平成25年3月までの期間限定で実施されている。この制度は今後の筋電義手支給の問題点や支給方法などの研究を行う主旨で、今後の普及への試金石となっている (図9)。

一方、歩行訓練用の歩行アシストロボットの発達もある¹⁶⁾。筑波大の山海嘉之らはHAL[®] (Hybrid Assistive Limb[®] 図10) という、サイバニクス (人間、機械、情報系の一体化を目指した新学問融合領域) 随意制御という新概念・技術のもとロボットの制御手法も用いた自立動作支援ロボットスーツを開発した。筋電信号のある患者だけではなく信号の弱い患者も対象とする福祉用製



図9 左手筋電義手（関東労災病院作業療法室提供）



（JR東京病院リハビリテーション科田中清和部長提供）

図10 HAL : Hybrid Assistive Limb

品である。また、イギリスのDavid Hartが脳性麻痺患者の歩行補助として開発した4輪台車歩行器のHart Step[®]やHONDA（本田技研）の高齢者用リズム歩行アシストSAS[®]（Stride Assistance System[®]）などが使用されている。これらの装置を利用した筋力増強や日常生活動作の改善による転倒防止などが期待され、汎用性の高い進化が求められている。

VII 最後に

整形外科，リハビリテーション領域における現状をその歴史的観点からアプローチを試みた。限られた誌面ではあるが，先人達の苦勞の足跡が時代背景や技術革新とともにあり現代，そして未来へと継続されている事実が明らかとなり，今後の研究活動の一助となれば幸いである。

謝辞

本稿の歴史部分を記述するに当たっては、九州大学整形外科同窓会が上梓した天見民和「整形外科を育てた人達」および、東京大学整形外科創立100年記念で労を執られた高取吉雄博士の発表資料を勝手ながら参考資料とさせて頂いた。誠に感謝に堪えなく、最後に陳謝多々の意を述べる不作法をお許し頂きたい。また、多くの資料の提供を快く受けて下さった諸氏に心から誌面を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 中村耕三 (2011) 「ロコモティブシンドローム運動器科学の新時代：ロコモティブシンドロームの概念」『医学の歩み』236巻5号, 医歯薬出版, pp.347-352
 - 2) 腰塚 裕 (2011) 「ロコモティブシンドローム運動器科学の新時代：在宅医療から見た運動器障害」『医学の歩み』236巻5号, 医歯薬出版, pp.412-416
 - 3) 池上敬一 (2000) 「New Mook 整形外科 No.8 特集下肢の外傷：外傷治療の変遷」金原出版, pp.1-10
 - 4) 天子民雄 (1999) 「整形外科を育てた人達」九州大学整形外科同窓会 (医学書院), pp.1-570
 - 5) 井上四郎 (1995) 「関節外科Special創外固定の基礎と臨床：創外固定の史的考察」メジカルビュー社, pp.12-23
 - 6) 岡崎裕司 (2010) 「今日の整形外科治療指針 第6版2. 外傷一般 骨折の創外固定」医学書院, pp.78-80
 - 7) 大西五三男・岡崎裕司ほか (2007) 「ユニバーサル・バー・リンク・機構を有する片側式創外固定器による変形矯正」日本創外固定・骨延長学会雑誌18巻, pp.53-61
 - 8) 大西五三男 (2011) 「ロコモティブシンドローム運動器科学の新時代：骨粗鬆症における骨折リスクの評価法の進歩」『医学の歩み』236巻5号, 医歯薬出版, pp.432-437
 - 9) 岡 敬之 (2011) 「医学の歩み ロコモティブシンドローム運動器科学の新時代：変形性膝関節症X線画像自動読影システム (KOACAD[®]) の開発」『医学の歩み』236巻5号, 医歯薬出版, pp.443-447
 - 10) 三浦裕正ほか (2005) 「特集/高齢者の骨・関節疾患 人工関節の進歩」『臨床と研究』82巻6号, 大道学館, pp.70-74
 - 11) 茂呂 徹・高取吉雄ほか (2009) 「特集変形性関節症UP-to-date長寿命型人工関節の開発」CLINICAL CALCIUM Vol.19 No.11 pp.77-85
 - 12) 星地亜都司「Critical Thinking 脊椎外科」三輪書店, pp.175-181
 - 13) 川口 浩 (2011) 「ロコモティブシンドローム運動器科学の新時代：変形性関節症の分子メカニズム—治療標的分子の同定をめざして」『医学の歩み』236巻5号, 医歯薬出版, pp.531-534
 - 14) 加藤 龍ほか (2010) 「Brain Machine Interface を利用したロボット」Journal of Clinical Rehabilitation, Vol.19 No.4, 医歯薬出版, pp.308-312
 - 15) 陳 隆明 (2010) 「筋電義手」Journal of Clinical Rehabilitation, Vol.19 No.6, 医歯薬出版, pp.514-519
 - 16) 元田英一 (2009) 「歩行アシストロボット」Journal of Clinical Rehabilitation, Vol.18 No.12, 医歯薬出版, pp.1123-1126
- (おかざき・ひろし 関東労災病院整形外科統括部長・東京大学講師)