

いのち おきて 哺乳動物の生命の掟 と ヒトの生き方

その3. 容姿・容貌のバイオ メカニクスと免疫システム

東京大学医学部口腔外科学教室 西原 克成

1. 容姿・容貌と習癖

ヒトの生活上の動作には、しばしば習癖が背景に存在している。習癖は連鎖する。口呼吸習癖は嚥下時に舌を突き出す習慣性の動作を連鎖し、片側咀嚼習癖は通常ある決まった睡眠姿勢をとる習慣性の動作を連鎖する。これらの一連の動作により、顔面の形状や咀嚼器の機能は大きく影響を受ける。またこれらは、身体の姿勢保持習慣などとも密接に関連する。これは一連の習癖が関連し、連鎖して種々の器官に生体力学的に作用するためであるが、このことは一般はもとより専門家の間でもあまり認識されていなかった。

今日文明社会において、力学的世界観は、日常生活の中で常識に属する程に一般化している。家屋・建築・交通手段、自然界の地形から事物の現象面の殆ど全般に到るまで、力学的摂理のもとに

成立していることを疑う者は少ない。生命体は、高分子物質からなる機械仕掛けの装置であると言われている。当然、生体も力学的摂理の中で機能しているのであるが、体のこととなると途端に別世界の事のように考えるのが普通である。

骨や歯など、支持機械的機能を中心とした器官では、単純な機械的外力が、意外に大きな形態的機能的影響を生起する。ことに顔面は骨格を中心として構成されているので、生活習慣からくる外力により、顔貌の形状が大きく影響を受ける。

頭蓋は、通常神経頭蓋と内臓頭蓋に分けられるが、人間の顔貌は神経頭蓋の一部である眼窩と内臓頭蓋により構成されている。顎口腔は、内臓頭蓋の消化器部分に相当するが、発生学的には、鰓腸(えらの腸=呼吸器)に由来するから、骨格を持った腸管と見られる。この骨格を構成するのが歯と上下顎骨である。一連の歯は歯列弓と呼ばれ、

日本人では上下顎でそれぞれ放物線を描くとされているが、実際には対称性のある放物線を描く例はまれである。また一般に人類では、咬合平面は Monson 球面に一致するとされるが (Monson)、実際には一致する例は少ない。多くは球面はゆがみ、歯列弓も台形かゆがみのある放物線、V 字型、W 字型など様々な型を示す。

では何故このようなことが起こるのであるのか？ これらの変形は、生活習慣からくる生体力学的要因により生理的に生ずるのである。これは骨組織が、反復的に作用する力で発生する主応力線の走行に従って改造されるためである。筋肉の力も骨組織にとっては外力として作用する。歯は顎骨に植立して歯列弓を形成するが、歯に加わる力は、ある種の変換システムで周囲の顎骨組織に伝わり、周囲組織では骨の性質に従って改造が生じ、その結果歯が移動する。

2. 口呼吸習癖が連鎖するわけ

生活習慣や習癖による生体力学的因子とは、この領域では「口腔とその周辺習癖」として一括される。これらの習癖は、具体的には口呼吸習癖、片側咀嚼習癖、睡眠姿勢習癖 (横向き・俯せ)、頬杖習癖、くいしばり・歯軋り習癖、器楽の演奏練習などである。これらは、恐らくは人間の頭蓋が重すぎる点に一因があり、また、人間の社会的文化的活動と言われる行動や動作に起因していると考えられる。

人間の頭は重すぎるが、それに対する自覚がないために、長時間の姿勢の保持に際して、無意識のうちにしばしば頬杖などの補助的支えを求める。また、枕を不用意に使用することも顔面や頸部の骨格系に変形を生ずる一因となっている。一方、人間では摂食活動のほかに、会話や詩歌の朗詠、スポーツや器楽の演奏など社会的文化的活動

のために、口腔を気道として使うことがしばしばあり、口呼吸習癖者が多発する。これらのうち、口呼吸は嚥下時の舌による前歯部の圧迫習癖を随伴し、また片側咀嚼習癖は殆どの場合睡眠姿勢習癖を連鎖する。従って各習癖によりそれぞれ特徴的な歯列弓と顔貌の変形を生ずるのである。

片側咀嚼習癖は、程度の差はあるが、殆どすべての人に認められるものである。専門家の間では咀嚼の傾向性 (preference) として扱われ、習癖として認知されていない面があるが、一般に習慣性反復性の動作を習癖と呼ぶので、片側性の咀嚼も習癖と見るべきである。顔面・頸部に分布する多くの筋肉は、咀嚼・嚥下・発声・表情・姿勢保持などの機能を担当するが、これらの筋肉群の主要部分が鰓弓筋 (内臓筋 = 平滑筋) に由来するために (三木成夫)、機能時に互いに連動する。片側咀嚼習癖は、生体力学的に骨格系に影響を及ぼし顔面の非対称のみならず、立位で頭位の傾きを生じ、椎骨の側弯を生起する。従って、この領域の習癖の中では、口呼吸習癖とならんで最も重要なものである。

習癖などの外力によって歯列弓が変化することは 2000 年以上前のヒポクラテスの時代から知られており、この知見が約 200 年前から臨床に応用され、米国において体系化され歯列矯正術の術式が確立された。頭蓋の重量が大きいのが人類の特徴であるが、睡眠姿勢が咀嚼器に及ぼす頭蓋重量の影響は絶大である。80 年前に既に Stallard という米国人が睡眠姿勢習慣と歯列弓の変形との関連性について報告している。つまり、睡眠姿勢習癖が、片側咀嚼習癖と連鎖するのである。前述したように鰓弓筋は、連動して機能するので、第一鰓弓筋由来の咀嚼筋は、第二鰓弓筋由来の顔面表情筋や、嚥下時に機能する咽頭筋群とも連動する。その結果、片側咀嚼の習癖側の頸筋の機能亢進による短縮が起こり、頸椎の側弯を生ずる。通常短

縮した咀嚼機能側を下にして眠る横向きないし俯せの睡眠姿勢習癖が連鎖するが、多くの場合頭蓋の重量を咀嚼器と枕との間で負担するため、歯列弓の形状や上下顎骨の形態が生理的に変化する。本来は遺伝的には、最適形状として Monson 球面に一致した咬合平面を持ち、放物線を描く歯列弓が、外力により変形するのである。顔をはじめとする背骨などの骨格が歪むと免疫病を随伴する。これは免疫の要リンパ系と骨髄造血系が体壁系骨格に集中しているためである。

3. 歯の学問と歯の器官特性

咀嚼器の効果器官である歯は、高等な生物にとって、生命に最も本質的器官であると言われている (Cuvier)。極めて特異な器官であるため、歯に関する学問は約 200 年前から数 10 年前迄は、当代一流の学者によって競って研究された分野であり、古生物学、系統発生学、比較形態学、分類学、解剖学、人類学、遺伝学などの方面で膨大な学問的蓄積のある分野である (藤田恒太郎)。残念ながら、これらの学問的成果が今日の臨床医学 (歯科学) にあまり生かされていない。

脊椎動物の 5 億年の歴史のなかで、歯は原初の甲皮類 (異甲類) の時代から存在し、連綿と続く生命体の変遷の過程を通して、直接我々に受け継がれた数少ない遺産である (Halstead)。アスピディンと呼ばれる骨と象牙質の複合体は、異甲類の外骨格を形成し最外層の象牙質が破壊されると感覚器官として、生体に加えられる物理的・化学的侵襲を鋭敏に感知したと考えられる。今日の我々の歯でも、刺激の種類にかかわらず侵襲が象牙質に及ぶと、極めて鋭敏な痛覚として感知されるのは、アスピディンの名残りとして原初の器官が持っていた機能を引き継いでいるためであろう。このアスピディンは、力学刺激に対応する生体力学的シ

ステムを持っており、顎口腔周囲で摂食活動という力学的刺激に対応して、歯として発達したと考えられている。

歯の原形は、脊椎動物の出発点において既に骨組織との複合器官として形成されていたのである。現生の哺乳動物の歯根も、すべて線維骨であるセメント質で覆われているので (Weidenreich)、5 億年の進化を経た動物の歯においても、原初の姿が様式を変えて保たれていると見られる。直接骨に接合していた歯は、化石爬虫類 (恐竜) に引きつがれ、哺乳類型爬虫類を経て約 1 億年を要して靱帯結合の哺乳類の歯に進化した。この変化で、線維骨のセメント質の外層に靱帯関節が獲得されたのである。このシステムの変化は、生きている限り萌出・癒着・破折・脱落・再萌出を繰り返す多生歯性の歯から、二生歯 (一生歯) 性歯への進化と、下顎を構成していた多数の関節骨の聴覚骨格系への分離という、進化における劇的場面を経て哺乳類の誕生につながる。哺乳類の最大の特徴は、その名の示す如く哺乳のシステムすなわち顎口腔の構造にある。この劇的変遷の原動力となったのが、顎と歯による咀嚼運動というバイオメカニカルな要因である。この意味でも歯は極めて重要で特異な器官なのである。

多くのすぐれた学者によって哺乳類の歯に関する研究が続けられたが、膨大な学問的蓄積の中には歯の器官特性に関する疑問つまり「歯とは何か？」という問に対する解答は見当たらない。歯や顎骨など、骨格系臓器は機械構造体による機械的機能を使命とする。従って「歯とは何か？」という問は、歯の力学的特性に対する問と考えるべきものである。Culmann、Meyer、Wolff などが活躍し始めた頃に蓄積された歯に関する学問的遺産の中に、この問に対する答えを求めることは無理であろう。しかし今日歯科学が発達し、世界的

に多方面からの研究が精力的に進められているが、意外なことに生体力学的に「歯とは何か？」ということを考える試みが今日まであまりなされていなかった。古生物学や系統発生学の知見による経験則と、力学的解析などを総合すると、哺乳動物の歯は最適形状化システムを持ち、咀嚼力という multiple force を歯冠と歯根の形状と物性により、歯が一旦負担し歯周靭帯で主応力線を変換して顎骨に分散し、顎骨の皮質骨で負担させる vehicle システムであり、歯周靭帯が主応力線の変換システムとして機能するとともに、栄養を担当する脈管系が靭帯組織と協同して衝撃を吸収する弾性体として機能するものなのである。今日に到るまで歯という器官のこの重要な生体力学的特性をあまり深く考慮しないで、歯の治療が行われていた。歯の力学的特性を明確に把握しないまま歯の治療や義歯の作製、歯列矯正や dental implant を実施するため、予期しない問題が次々と発生するのである。歯と顎骨とは生体力学的に相互作用を有する。この両者の力学的バランスが崩れると歯列不正や歯周疾患、義歯の破損、顎関節症、顎変形症などが発症する。最適形状システムを持つ顎骨は本来遺伝的には Monson 球面に一致した咬合平面と放射物を示す歯列弓を持ち、円滑な咀嚼サイクルを演ずる機械として設計されている。この同じ最適形状システムにより骨は機能の長期的偏りで、偏った運動に適合した形に変形する。骨が機能に従って remodeling するためである。機能的偏りが長期に及ぶと変形も進み、ついには円滑な咀嚼サイクルの遂行に支障を来す。一方歯も最適形状システムを持つことが経験的に知られているが、遺伝学的な時間の長さで最適形状をとる器官なのである。歯は植立する部位により機能が異なるため、この最適形状化システムに従って歯冠と歯根の形状が部位により異なる。骨も歯も

遺伝的に、それぞれの種の一般的機能に適合した最適形態をとる器官であるが、骨はそれ自体で機能適応形態をとるので、遺伝的に規制された形状から、二次的に機能的外力で変化する。歯の vehicle システム、歯周組織の脈管構造及び人間の顎骨と歯根の形態とを考えると、歯は長期に作用する側方力を支える機構を持ち合わせていないことがわかる。歯列矯正術では、わずかに 20 g から 70 g の持続性の側方力で歯を動かす。睡眠姿勢習癖では、枕の硬さや寝る姿勢で異なるが、strain gauge で測定すると大白歯 1 本に 30 g から 300 g の力が加わることがわかる。睡眠姿勢習癖は、意外に矯正することが困難であるが、1日4時間程左右片側ずつ横向きの睡眠姿勢習癖を繰り返すと、20年間には歯列弓は極端に変形する。このように歯や顎骨など骨格系臓器は単純な力学的影響を受ける器官であり、一般の機械に共通した基本的特性を持っていることがわかる。これは進化の過程でヒトの歯と顎骨が側方力を受ける機会があまりなかったためと考えられる。

4. 骨格器官と免疫系

1892年に提唱された Wolff の法則は、「骨は機能に適した形態に変化する」という臨床に基づく経験則である。この漠然とした functional adaptation を力学的現象として厳密に把握する必要がある。いかなる力学刺激が機能として定義され、いかなる法則性の下に、どのように形態が変化するかについては、Wolff は述べていない。通常の機能と考えられる一般的な力学刺激には、歩行や咀嚼などに見られるような圧縮性の反復性の荷重がある。このゆすぶりの加わらない反復性の主応力線の繰り返しの荷重では、骨は通常密度が増加して輪郭が縮小する。この他に長管骨などに見られる引っ張り弛緩が繰り返される反復荷重では、

骨は長軸に伸び密度が下がる。一方、骨に反復性の圧迫力が加わると、加わった方向に変形し密度が高くなる。

脊椎動物の定義は「骨性の骨柱を持つ脊索動物」であるから、アパタイトがこの宗族を規定する物質であることがわかる。原始の脊椎動物と陸棲のそれらとの基本体制の違いは唯一で、腸管造血系と骨髄造血系の違いにあり、物質としては造血性の骨髄と言うことになる。哺乳類とそれ以外の動物の違いも唯一で、吸嚙のシステムにある。これは長ずると咀嚼システムを担う靭帯結合の釘植歯となる。物質としてはセメント質を持つ歯が唯一である。つまり、哺乳類を規定する器官は歯（釘植歯）ということになる。哺乳類の唯一の本質的特徴は、咀嚼を行う顎にしかない。咀嚼とはそれほど重要な哺乳類を代表する機能なのである。進化の過程を脊椎動物の原初の革命（鰓孔の腸への取り込み）から第一革命（歯と顎の獲得）、第二革命（上陸＝鰓→肺呼吸および骨髄造血系の成立）、第三革命（哺乳システム→釘植歯の獲得）と見て行くと、すべて外界の変化や生活様式の変更にもなう、口を中心とした骨格系と鰓腸の力学対応が、進化という現象として現れていることがわかる。つまり骨格系の力学対応様式が明らかとなれば、脊椎動物の進化の様式が解明されるのである。

骨の機能適応形態の実相は、力学刺激が液性の流動に変換され、この流動が内骨格に作用して流動電流を誘発すると、これによりリン酸とカルシウムの雰囲気下で間葉系細胞の特定の遺伝子が発現し、造骨細胞と造血細胞とが共軌的に誘導される。サメの筋肉内で造血の誘導が合成アパタイトの移植で実験的に観察されたが、これは力学的条件とリン酸とカルシウムという物質の存在が揃えば、間葉系細胞の遺伝子は自動的に作動することを示している。サメが陸に上がると、重力の作用

による間葉細胞の力学対応で軟骨が硬骨に変化する。すると自動的に骨髄腔が形成され、自動的に脾臓から造血が骨髄腔に移動する。これは造血と造骨に関連する間葉系細胞の遺伝子発現の引き金が、重力の作用によるからである。このようにして脊椎動物は重力など外界の力学が引き金となって、同じ遺伝子を持ったまま形を変化させる。行動様式を変えると形が変わり、亜種が分離する。これが形態の進化である。形が変化して長期間経過すると、後追いついて遺伝子がコピーミスなどで変化する。これが分子進化である。免疫の要の造血系の主要部が内臓を離れた骨格に移ると、骨休めを怠れば寿命が縮む。

5. 腸管造血系と免疫系

脊椎動物の原型は、鰓腸（エラ呼吸を行う腸管）が完成しそれに連なる内臓消化管による呼吸・消化・排出の一連の系が1本の腸管にまとめられた半索類に求められる。この体制を維持する過程で脊索が発達し、やがて脊索が化骨する。骨はコラーゲンとアパタイトの複合体であるが、生体力学対応としてのリモデリングシステムを持ち、またアパタイトは生物に必須のカルシウムとエネルギー代謝に必須のリン酸の複合体からなる。これらの理由から、骨組織の獲得により、この宗族の発展が約束されたのである。

この基本体制は植物機能として腸管系、動物機能として体壁筋肉系に大別される。腸管系を、酸素を含めた物質の呼吸・吸収系―排出系とみると、腸管内消化により粘膜から体内に入り、赤血球・白血球・リンパ球による細胞レベルの腸管外体内消化を経て運搬・代謝され、代謝産物が主として間葉上皮系の汗腺と腎から排出される。この細胞レベルの消化管外体内消化を科学的視点から見るといわゆる免疫系とみることが出来る。腸管内消

化に続く栄養の吸収・代謝・運搬系には赤血球が対応し、抗原、細菌、ウイルス、毒物、異種蛋白等には白血球が対応し、脂肪の吸収にはリンパ系が対応する。感染や外傷などで体内に消化管を介さずに入ってくる異種物質には、赤血球、白血球、リンパ球が対応し消化を試みる。一般にみられる細胞浸潤がそれである。つまり、免疫を生体力学的立場から科学的に捉えると、腸管外の細胞レベルの消化という機能様態として理解される。この免疫系の最も主要部を担当する造血リンパ系と脂肪系が進化の過程で鰓呼吸から空気呼吸への変換に伴って一大変革を遂げ、腸管の肝臓・脾臓系から骨髓腔へと移動しているが、これが水中生活から陸上生活への転換に伴う軟骨の重力対応による化骨すなわち生体力学を主な要因とする。つまり、本来植物系内臓機能として腸管に付属し、腸管内消化とそれに連続する細胞レベルの消化を担当する中軸的臓器が脾臓(植物系)から骨髓腔(動物系-体壁系)へとその住み家を移動しているのである。しかしすべてが骨髓腔に移動するわけではなく、GALT(Gut Associated Lymphoid Tissue)といわれる巨大な腸管造血巣(白血球・リンパ球造血巣)が哺乳類にも存在する。

鰓腸呼吸系から肺呼吸への変換では、鰓器の腸管上皮から肺臓(内胚葉上皮)が形成されたのであるが、この鰓器は機能体である鰓弓筋(平滑筋)を伴わずに肺を形成した。従って、生命に本質的に重要な酸素の取り込み装置の植物系器官の呼吸器肺臓は、平滑筋に代わって動物性の体壁系筋肉で呼吸運動を代行している。ここでも動・植物系の2つに別れていた一方の内臓植物系の最重要臓器の基本体制が崩れている。これに伴って鰓孔に存在した胸腺(一次リンパ造血巣)も扁桃リンパ輪、胸腺・肺および長管骨骨端関節部等へ変化したり移動したりした。以上植物系臓器の吸収・消

化系について述べたが、一方排出系もまた腸管栄養系の重要な機能を構成する。これは栄養が吸収された後の時間軸に沿った変容の過程として理解されるが、排出の系には2種類ある。1つは細胞代謝物つまり異化作用による老廃物の排出であり、主として血液(血球と血漿)が担当し、もう一方は余った栄養分すなわち次代を担う遺伝物質である。血球と生殖細胞はともに同系の間葉組織に由来する。脊椎動物では消化・吸収・排出の過程は基本的には一本の腸管で行われる。排出の過程は、呼吸・吸収・消化の終末過程であるから、泌尿も生殖もともに当然免疫系の一翼を構成する。

泌尿・排出系は太古の生物では鰓器に存在した前腎が行っていたが、進化するにつれて中腎、後腎へと移動した。食物と空気というエネルギー源の取り込み口が頭進するのに対して代謝産物と余剰の栄養系の遺伝物質が肛進し、双極を形成するのは、脊椎動物が常に頭部を先にして進み、腸管吸収系が時間軸と一致した管として形成される生体力学対応による。これらの変化を大局的に眺めると、脊椎動物の体制の変遷は鰓腸を中心とした腸管系の機能と、骨格系アパタイト臓器間の生体力学的相互作用が中心的役割を果たすものとして把握される。(完)

参考文献

1. 西原克成：顔の科学。日本教文社、東京、1996.
2. 西原克成：呼吸健康術。法研、東京、1996.
3. 西原克成：Haeckel・三木成夫の形態学と芸術のAnatomy。美術解剖学雑誌、(3)1：39-45、1995.
4. 三木成夫：生命形態の自然誌。うぶすな書院、東京、1991.
5. 三木成夫：生命形態学序説-根源形象とメタモルフォーゼー。うぶすな書院、東京、1993.