

Biomechanics in Maxillofacial region and
Aligner Orthodontics

顎顔面のバイオメカニクスと アライナー矯正

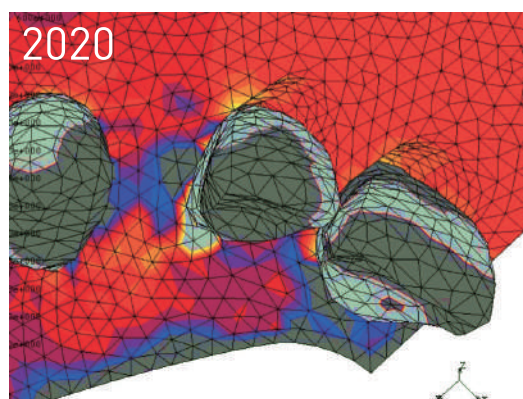
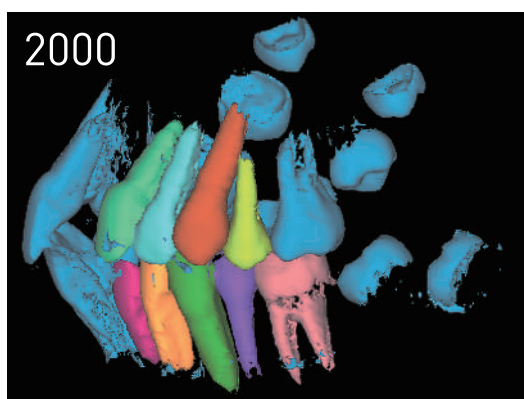
【著】横 宏太郎

【執筆協力】高良有理江，嶋田百合

バイオメカニクス矯正診断学

コンピュータ支援矯正学

アライナー矯正学



咀嚼器官のバイオメカニクス

下顎骨と咀嚼筋群

咀嚼機構のバイオメカニクス = III 級テコ理論の理解

機能の履歴は必ず形態に刻まれている = 形態から機能を推測できる

顎骨の成長にともなった下顎下縁平面の傾斜や顎角部の開大などの形態的な変化は、咬筋や側頭筋などの咀嚼筋の機能によって影響を受けている。これは、下顎頭に発生する筋牽引時の「反力」(reaction force) が刺激となって、軟骨成長の方向とその量が変わるためである。

この「反力」の発生は、咀嚼器官における III 級テコの原理で説明される。III 級テコとは、支点が力点や作用点の外側にある状態をいう。図 2-1 に示すように、下顎骨を咀嚼筋によって吊り下げられた状態とみなし、下顎頭部分を支点、咬合する歯列を作用点、咀嚼筋の付着部分を力点とするテコ理論である。この理論は、バイオメカニクスの領域ではすでに常識となっており、多くの実験的な証明もなされている¹⁾。

このモデルでは、咬合時には必ず支点である下顎頭部分に筋牽引の反力が発生する。この反力は咬合力ほど強大ではないが、力点、作用点の相対的な位置関係と荷重の大きさや方向に左右される。つまり、咀嚼筋の牽引の方向と強さ、付着部位、歯列の位置と咬合接触部位、歯軸傾斜、関節円板の位置によって、反力の大きさと方向は決定される。このことは、側頭筋優位から咬筋優位に変わる筋機能の成長発育変化や、矯正治療によって歯の位置や歯軸を変更することで顎関節に発生する反力が変わることをも意味している。このメカニズムの理解が最も大切である。この力学状態を知らずに、歯列をいくらでも遠心に移動できるから非抜歯を選択しようとか、下顎の大白歯を遠心に傾斜させて治療を終了すればいずれ白歯部が咬んでくるであろう、という曖昧な治療術式を行うべきではない。また、咬合と顎関節症の発症には関係がないと考えることは大きな誤りであることも理解できよう。

咬合彎曲の存在理由の一つも、実はこの反力の生成過程と関係している(図 2-2)。咬合彎曲は、歯軸が傾斜することによって、歯に加わる荷重に対して鼻上顎部の抵抗域を集約させている。特に、上顎は呼吸機能を維持するために骨の厚みは薄く、中に鼻腔を収める必要があるため、上方の鶏冠付近に抵抗の中心を集めている。そして、側方から見た歯軸傾斜(Spee 彎曲)が、咀嚼筋のベクトルとともに、下顎頭部分に発生する反力の方向を決定している。

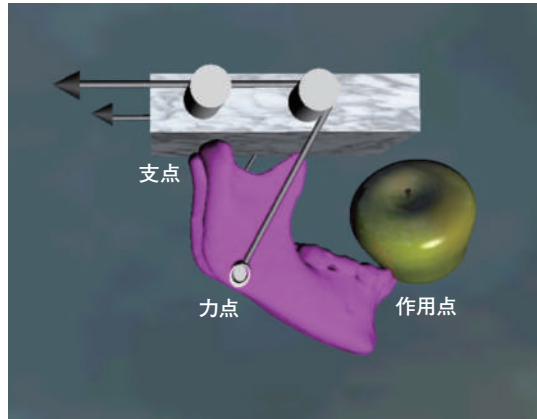


図2-1 Ⅲ級テコ理論の説明図



図2-2 咬合彎曲と抵抗中心

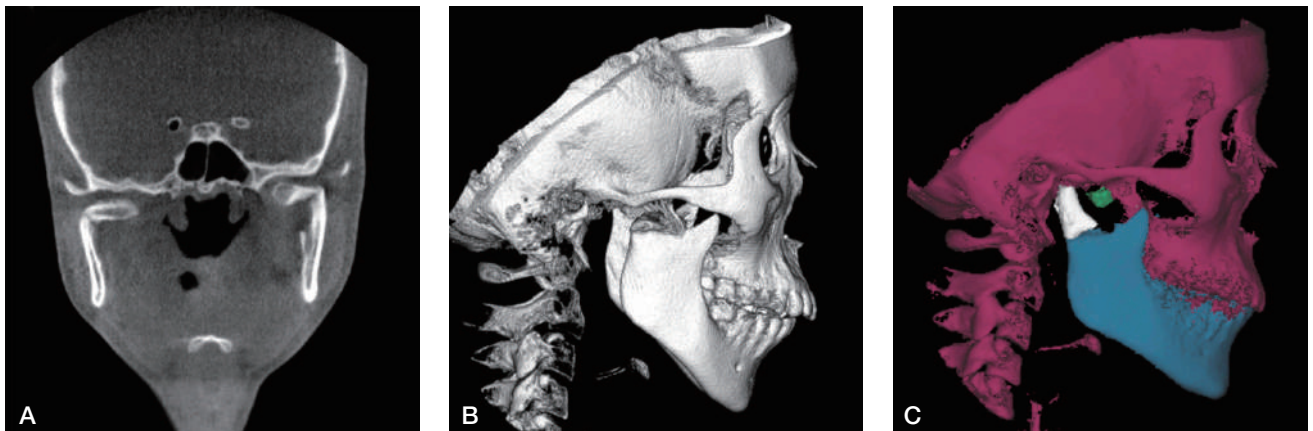


図2-3 下顎頭と荷重の関係を示す症例

本症例は、両側下顎頭頸部を転倒によって骨折した。骨折後、下顎頭部分は内側に変位し、関節窩に対して下顎骨を支えることができなくなっている (A)。

患者の主訴は、骨折する前に比べて下顎が後退し「出っ歯」になってしまったというものである (B)。受傷直後に来院したので、骨片の吸収も進んでおらず、CBCTを撮影してすぐに下顎骨と下顎頭部分を抽出し咬合関係をもとに上下顎間関係を画像シミュレーションで復元することができた (C)。骨折している状態Bと復元像Cを比較すると、明らかに下顎下縁が骨折後に開大しており、平常時には下顎頭部分が荷重を支えていたことが理解できる。

このⅢ級テコ理論は、日本ではあまり馴染みがないかもしれないが、咬合理論の理解や顎関節の診断、成長発育の推定など、歯科臨床のすべてに応用できる基本理論であるので是非この機会に理解していただきたい。

ちなみに、この反力は、筋電図の積分値や筋断面積比率を基にして各筋のベクトルを求め、プレスケールなどによる歯牙荷重と歯軸傾斜から作用点に加わるベクトルを算出し、関節円板の位置における平衡条件から三次元モーメント式で計算することができる。このような計算方法の有効性は、すでに1990年代に検証されている²⁾。

図2-3に、下顎頭に荷重が加わっていることの証左とも言える症例を示す。ちょうどCBCTを開発した直後に遭遇した症例で、それまではⅢ級テコ理論に懐疑的だった筆者自身を納得させる機会を与えてくれた。CBCTの解像度とシミュレーションソフトが揃っていなければ、今でも理解できなかったかもしれない。

有限要素解析の信頼性の検証

有限要素解析では、シミュレーション計算の結果が本当に正しいかどうかを、実際の実験結果をもって確認しなければならない。図4-4は、骨粗鬆症治療薬の効果を視覚的に捉える目的で開発したもので、生体内の腰椎における骨折危険性を明示するアルゴリズムである。

まず、生体骨の三次元情報と骨密度から要素モデルの構造とヤング率を決定し、次に、摘出骨のQCTデータとその圧縮試験から強度との相関関係を捉え、その両者を生体骨の要素モデルに代入して、応力/強度 (=骨折し易さ) の値を可視化する¹¹⁾。

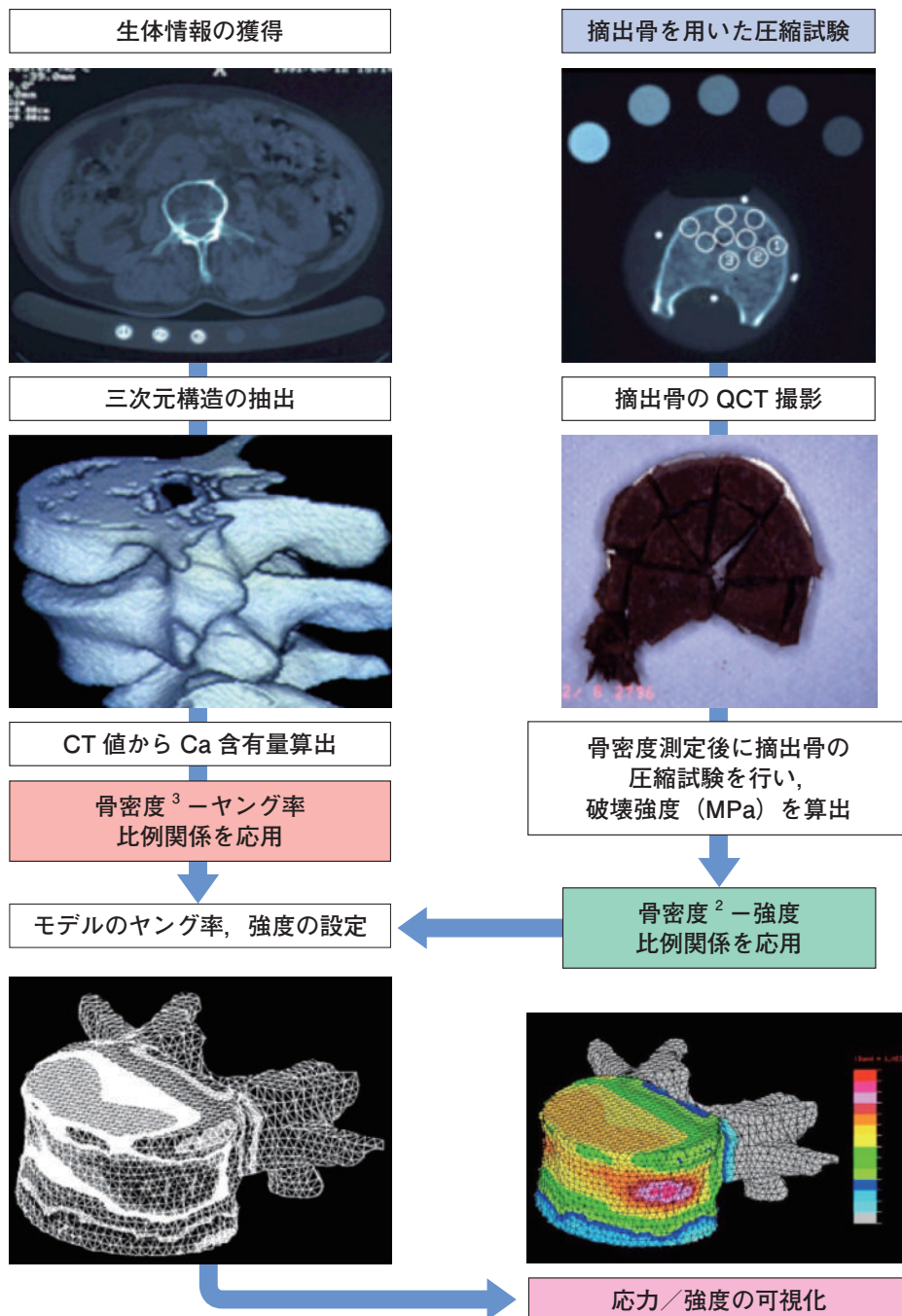


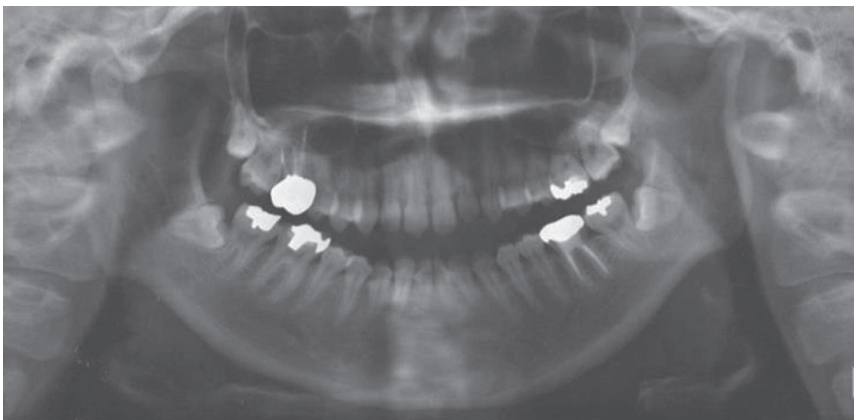
図4-4 生体情報の獲得と有限要素法を用いた骨モデルの可視化

Case 1

空隙歯列を呈する上顎前突症例



初診時



終了時

