

矯正力による歯の移動のバイオメカニクス

—骨改造を組み込んだ経時的な歯の移動シミュレーションの実現に向けた課題—

Biomechanics of orthodontic tooth movement-Simulation of long-term tooth movement after going through bone remodelling -

○吉田教明（長崎大学大学院医歯薬学総合研究科 歯科矯正学分野）

Noriaki YOSHIDA¹

¹ Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Nagasaki University

1-7-1 Sakamoto, Nagasaki, 852-8588, JAPAN

Most of finite element studies on orthodontic tooth movement have been limited to simulation for initial tooth displacement. However, long-term tooth movement occurs after going through bone remodelling. Therefore, we attempted to establish simulation system for orthodontic tooth movement resulting from bone remodelling in two ways. Firstly, initial tooth displacement was performed by two steps; the first step is the same as the analysis of initial tooth displacement. And in the second step, a re-meshing of the bone element is performed to simulate bone remodelling process. Two steps were repeated. Secondly, we apply orthodontic force and deform the periodontal ligament (PDL) while the model is restrained at the outer surface of PDL. Then, PDL is restored to its original form and width by displacing nodes of outer surface of PDL. That procedure is repeated to carry out long-term tooth movement. Finally, results obtained from finite element analysis will be compared to clinical results.

Key word: Orthodontic tooth movement, finite element analysis, bone remodeling, simulation

これまでの歯の移動の生体力学的な研究の多くは、矯正力が加わった時点、すなわち歯が移動を開始する直前における応力解析あるいは、即時的に生じる初期変位の解析にとどまっていた^{1,2)}。矯正力による歯の移動は、外力に対する歯根膜、歯周組織の長期的な生物学的反応の結果である。長期的な歯の移動予測が可能になれば、矯正治療の効率化、治療期間の短縮を実現することができる。このことから、骨改造を伴う歯の移動を定量的、定性的に解析するモデル・シミュレーション法の開発が求められている。

ここでは、上顎歯列のモデルを作成し、第一小臼歯抜歯症例における空隙閉鎖時の経時的、長期的な歯の移動を再現することとした。空隙閉鎖法には、スライディングメカニクスを用いた。

矯正治療における骨改造を伴う歯の移動をシミュレーションする2通りの方法を試みた。一つ目は、2段階で歯に初期変位を与え、これを繰り返す方法である。まず通法に従い、適正な歯周組織の材料定数を設定し、初期変位を生じさせる（step 1）。そして、個々の歯の動きを rigid beam element（ブラケット上の点に設定）の1点6自由度の変位に置き換える。次に、歯根膜のヤング率を6桁大きくし（剛体と見なし）、逆に歯槽骨のヤング率を4桁小さくし、軟組織とみなす。個々の歯の rigid beam element に step 1 で求めた6自由度の強制変位を与え、歯槽骨を変形させ（step 2）、リメッシュする。このように、2段階での初期変位を繰り返す方法である。

二つ目は、歯槽骨を剛体とみなし、歯根膜を変形させ、初期変位を繰り返す方法である。本モデルは、歯槽骨をモデル化せず、歯根膜外側節点を変位拘束することにより、歯槽骨を剛体化した状態を仮想し、歯根膜を変形させる。次に、歯根膜表面節点を移動し、歯根膜を元の厚みに復元させる。このように、歯根膜の変形、復元を繰り返すことにより、長期的な歯の移動をシミュレーションする方法である。

本解析では、生体材料が均質等方性で変化せず（線形）、各ステップでの初期変位量に一致して、歯槽骨のリモデリングが生じることを前提としている。今後、解析結果を臨床結果と照合し、歯槽骨のリモデリング量を近似化していく必要がある。歯根膜に生じる応力と歯槽骨の改造量を相関させるボトムアップアプローチは、確実ではあるが、システムの実現に時間を要する。臨床データに近似させるトップダウンアプローチにより、シミュレーションの精度を上げることが今後の課題になると思われるが、ご意見を頂戴できれば幸いに思います。

参考文献

- 1) Tominaga J, Tanaka M, Koga Y, Gonzales C, Kobayashi M, Yoshida N: Optimal loading conditions for controlled movement of anterior teeth in sliding mechanics. *Angle Orthod* 79(6): 1102-1107, 2009.
- 2) Tominaga J, Ozaki H, Tanaka M, Koga Y, Bourauel C, Yoshida N: Effect of play between bracket and archwire on anterior tooth movement in sliding mechanics. *J Dent Biomech* 3:1-8, 2012.