

Το κέντρο αντίστασης των δοντιών στην Ορθοδοντική

Ιωάννης Σ. Παπαγεωργίου

Ειδικός Ορθοδοντικός, Υποψήφιος Διδάκτωρ, Εργαστήριο Ορθοδοντικής, Τμήμα Οδοντιατρικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

The center of resistance of teeth in Orthodontics

Ioannis S. Papageorgiou

Orthodontist, Doctorate Degree Candidate, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να γίνει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των απόψεων που αφορούν το κέντρο αντίστασης ενός δοντιού ή μιας ομάδας δοντιών. Οι απόψεις των συγγραφέων για την ακριβή θέση του είναι συχνά διαφορετικές. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται αρχικά οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του και στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις μελέτες και στα αποτελέσματά τους.

Το κέντρο αντίστασης των μονόρριζων δοντιών βρίσκεται ανάμεσα στο 33-42% του μήκους της ρίζας όταν η μέτρηση γίνεται από τη φατνιακή ακρολοφία. Μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με το μήκος της ρίζας του δοντιού, τη διεύθυνση των εφαρμοζόμενων δυνάμεων, την ποσότητα του περιβάλλοντος οστού και την ηλικία ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι επηρεάζεται από τη μορφολογία του δοντιού, το είδος του περιοδοντικού συνδέσμου, την ποιότητα του περιβάλλοντος οστού, την ιστική αντίδραση στις ασκούμενες δυνάμεις, την εφύγγραση των παρακείμενων οστικών δομών και την αξονική κλίση του δοντιού.

Το κέντρο αντίστασης μιας ομάδας δοντιών διαφέρει ανάλογα με τον αριθμό των δοντιών. Οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει για τους άνω τομείς και τους άνω προσθίους. Υπάρχουν όμως σοβαρές διαφωνίες για τη θέση του κέντρου αντίστασης τόσο κατά την υπερώια μετακίνηση όσο και κατά την εμβύθιση. Επιπλέον οι γνώσεις μας για τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση του κέντρου αντίστασης ομάδων δοντιών είναι πολύ περιορισμένες ίσως επειδή οι παράγοντες αυτοί είναι δύσκολο να μετρηθούν σε ομάδες δοντιών. Ορισμένοι όμως τρόποι θεραπείας στηρίζονται θεωρητικά στη γνώση του κέντρου αντίστασης ομάδων δοντιών. Επειδή ο ορθοδοντικός δεν θεραπεύει κέντρα αντίστασης αλλά ασθενείς δεν θα πρέπει να απορρίπτεται

ABSTRACT

The aim of this study is to review the literature on what concerns the center of resistance of one tooth or a group of teeth. Authors' views about the center's exact location often differ. This study presents the main methods used for determining the center of resistance; relevant studies and their results are also reported.

The center of resistance of single-rooted teeth is found at a point located at a distance of 33-42% of the root length, when measured from the alveolar crest. Its location may change depending on root length, direction of applied forces, quantity of surrounding bone and age; there are indications that its location is also affected by tooth morphology, type of periodontal ligament, quality of surrounding bone, tissue response to forces applied, degree of humidity of neighboring osseous structures and tooth axial inclination.

The center of resistance of a group of teeth differs depending on the number of teeth. Most research studies concern upper incisors and upper anterior teeth. However, there are conflicting views about the center's location during palatal movement and intrusion. Furthermore, our knowledge concerning the factors affecting the center of resistance of a group of teeth is limited; this may be due to the fact that these factors cannot be easily measured when a tooth group is involved. Nevertheless, an orthodontist treats patients rather than centers of resistance and methods successfully tested in clinical practice should not be rejected, even if they might be based on theoretical centers of resistance.

Key words: Palatal tooth movement, dental intrusion, center of resistance, orthodontic movement.

αυτές τις μεθόδους όταν μάλιστα είναι δοκιμασμένες στην καθημερινή κλινική πράξη.

Λέξεις κλειδιά: Υπερώια μετακίνηση των δοντιών, εμβύθιση των δοντιών, κέντρο αντίστασης, ορθοδοντική μετακίνηση.

Ελλ Ορθοδ Επιθ 2005;8:41-55.

Παρελήφθη: 24.09.2004 - Έγινε δεκτή: 01.03.2005

Hell Orthod Rev 2005;8:41-55.

Received: 24.09.2004 - Accepted: 01.03.2005

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρκετά ελεύθερα σώματα συμπεριφέρονται σαν η μάζα τους να είναι συγκεντρωμένη σε ένα σημείο. Εάν π.χ. ένα ελεύθερο σώμα βρίσκεται στο διάστημα και ασκηθεί επάνω του μια δύναμη σε ένα συγκεκριμένο σημείο τότε όλα τα σημεία του σώματος θα διαγράψουν μία παράλληλη τροχιά. Το σημείο αυτό ονομάζεται κέντρο της μάζας. Το δόντι όμως δεν συμπεριφέρεται σαν ελεύθερο σώμα αφού η κίνησή του περιορίζεται από τον περιοδοντικό σύνδεσμο και το φατνιακό οστό. Το αντίστοιχο σημείο με το κέντρο μάζας ενός ελεύθερου σώματος είναι το κέντρο αντίστασης του δοντιού. Επομένως το κέντρο αντίστασης είναι το σημείο στο οποίο μπορεί να συμπυκνωθεί η αντίσταση του δοντιού σε μία κίνηση ή με άλλα λόγια το σημείο του δοντιού από το οποίο όταν μια δύναμη διέλθει θα προκαλέσει παράλληλη μετακίνηση του δοντιού.

Οι δυνάμεις που διέρχονται σε απόσταση από το κέντρο αντίστασης προκαλούν επιπλέον μία ροπή η οποία τείνει να περιστρέψει το δόντι. Το μέγεθος της ροπής εξαρτάται από το μέγεθος της δύναμης και την απόσταση του άσματος της δύναμης από το κέντρο αντίστασης του δοντιού (Proffit και Fields, 2000).

Οι δυνάμεις που εφαρμόζει ο ορθοδοντικός συνήθως δεν διέρχονται από το κέντρο αντίστασης των δοντιών (Nanda και Kuhlberg, 1997). Επομένως θα υπάρχουν ροπές οι οποίες θα επηρεάζουν και θα καθορίζουν την κίνηση του δοντιού. Όταν ο ορθοδοντικός γνωρίζει το κέντρο αντίστασης του δοντιού μπορεί να υπολογίσει αυτή τη ροπή ή καλύτερα το λόγο ροπή / δύναμη για κάθε κίνηση του δοντιού και να ελέγξει επομένως την κίνηση του δοντιού (Halazonetis, 1996; Yoshida και συν., 2001a). Εάν θέλει π.χ. να επιτύχει παράλληλη μετακίνηση του δοντιού θα πρέπει να ενσωματώσει στο σύστημα μια αντίθετη ροπή η οποία να εξουδετερώνει την πρώτη ή να εφαρμόσει μία δύναμη που να περνάει από το κέντρο αντίστασης του

INTRODUCTION

Several free bodies behave as if their mass is concentrated at a single point. If, e.g., a free body is found in space and a force is applied at a specific point on it, then all body points will follow the same course. This point is called the mass center. However, the tooth does not behave like a free body, since the periodontal ligament and the alveolar bone restrict its movement. The point that corresponds to the mass center of a free body is the center of resistance of the tooth. The center of resistance is, therefore, the point where tooth resistance to a movement may be concentrated; in other words, when a force is applied through this point, tooth translation ensues.

Forces applied at a distance from the CR also create a moment that tends to rotate the tooth. Moment magnitude depends on force magnitude and on the distance of the force vector from the CR (Proffit and Fields, 2000).

Forces applied by the orthodontist do not usually pass through the CR (Nanda and Kuhlberg, 1997). Consequently, moments that affect and determine tooth movement do exist. When the orthodontist knows the location of a tooth's CR, this moment or, even better, the moment / force ratio for every tooth movement may be calculated; thus, tooth movement may be controlled (Halazonetis, 1996; Yoshida et al., 2001a). If, e.g., tooth translation is to be achieved, then an opposite moment counteracting the first one or a force applied through the center of resistance should be incorporated into the system. When the moment to force ratio is between 1 and 7, the type of tooth movement is controlled tipping; when the ratio is between 8 and 10, then tooth translation is achieved; if the ratio is higher than 10, root movement (torque) is observed (Proffit and Fields, 2000).

METHODS OF DETERMINING THE CENTER OF RESISTANCE

Many methods have been used in order to determine the center of resistance of a tooth. Several researchers applied mathematical or physical models, as well as finite

δοντιού. Όταν ο λόγος της ροπής προς την εφαρμοζόμενη δύναμη βρίσκεται μεταξύ 1 και 7 ο τύπος της μετακίνησης του δοντιού που επιτυγχάνεται είναι ελεγχόμενη απόκλιση, μεταξύ 8 και 10 παράλληλη μετακίνηση ενώ όταν είναι μεγαλύτερος από 10 παρατηρείται μετακίνηση της ρίζας (torque) (Proffit και Fields, 2000).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Για τον καθορισμό του κέντρου αντίστασης του δοντιού χρησιμοποιήθηκαν πολλοί τρόποι. Ορισμένοι ερευνητές εφάρμοσαν μαθηματικά ή φυσικά μοντέλα καθώς και μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (finite element models). Τα περισσότερα μοντέλα όμως ήταν απλοποιημένα και δεν προσέγγιζαν ικανοποιητικά τους πραγματικούς ανατομικούς παράγοντες που επιχειρούσαν να εξομοιώσουν (Yoshida και συν., 2001a). Η ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων προϋποθέτει τη γνώση του λόγου Poisson ο οποίος εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας. Αξιόπιστες όμως τιμές για το μέτρο ελαστικότητας δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν από τη μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών λόγω της μεγάλης επίδρασης του ιστορικού φόρτισης, της διαδικασίας δημιουργίας δοκιμίων και των συνθηκών δοκιμίας στις ιδιότητες καθ' αυτές (Fung, 1993. *Αναφέρεται από τους Gioka C, Eliades T. Orthodontic dental intrusion: indications, histological changes, biomechanical principles, possible side effects. Hell Orthod Rev 2003;6:129-46*). Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων προϋποθέτει ότι τα υλικά είναι ισότροπα δηλαδή η αντίδρασή τους σε ένα δεδομένο φορτίο δεν επηρεάζεται από την κατεύθυνση φόρτισης. Η παραδοχή όμως αυτή δεν ισχύει για βιολογικά υλικά όπως το οστό (Park και Lakes, 1992. *Αναφέρεται από τους Gioka C, Eliades T. Orthodontic dental intrusion: indications, histological changes, biomechanical principles, possible side effects. Hell Orthod Rev 2003;6:129-46*). Τα τελευταία χρόνια έγινε προσπάθεια να εσωματωθεί η δομή του περιοδοντίου στις αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Σύμφωνα με τους Qian και συν. (2001) η διεύθυνση και οι μηχανικές ιδιότητες των ινών του περιρριζίου δεν έχουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του κέντρου αντίστασης. Οι Schneider και συν. (2002) εσωμάτωσαν στις αναλύσεις τους έναν αλγόριθμο για να περιγράψουν την αναδιαμόρφωση του οστού μετά από μηχανικά ερεθίσματα, έγιναν όμως σύμφωνα με τους ίδιους τους συγγραφείς ορισμένες απλουστεύσεις λόγω ελλείψεως στοιχείων για

element models. Most of them, however, were simplified and could not satisfactorily approach the real anatomical factors they attempted to simulate (Yoshida et al., 2001a). Finite element analysis requires that the Poisson ratio be known; this depends on the modulus of elasticity. Nevertheless, the study of material mechanical properties cannot provide reliable values for the modulus of elasticity, due to the high impact of the loading process history, the specimen preparation procedure and the testing conditions on the properties per se (Fung, 1993; *Reported by Gioka C, Eliades T. Orthodontic dental intrusion: indications, histological changes, biomechanical principles and possible side effects. Hell Orthod Rev 2003;6:129-46*). Finite element analysis also presupposes that materials are isotropic, that is, their response to a given load is not affected by the direction of loading. However, this is not true for biological materials, such as bone (Park and Lakes, 1992; *Reported by Gioka C, Eliades T. Orthodontic dental intrusion: indications, histological changes, biomechanical principles and possible side effects. Hell Orthod Rev 2003;6:129-46*). In recent years, it has been attempted to incorporate the structure of the periodontium into the finite element analyses. According to Qian et al. (2001), the direction and mechanical properties of periodontal fibers do not play an important role in determining the center of resistance. In their own analyses, Schneider et al. (2002) incorporated an algorithm in order to describe bone remodeling due to mechanical stimuli; however, according to the authors, several simplifications had to take place, due to lack of data concerning materials and their morphology.

Laser - holographic or strain gauges techniques were also used for studying tooth movement. Strain gauges are electrical extensometers attached to the points of a structure the movement of which we want to measure. Each extension results in increasing the strain gauge resistance and this can be measured electrically. The disadvantage of such techniques is that even the slightest movements of the head may significantly decrease the precision of tooth movement (Nagerl et al., 1991). According to McGuinness et al. (1991), strain gauges cannot be inserted in the periodontal membrane without running the risk of damaging it.

Most recent studies use magnets and magnetic sensors for determining the center of resistance and observing tooth movement (Yoshida et al., 2001a; 2001b).

τα υλικά και τη μορφολογία τους.

Για τη μελέτη της μετακίνησης των δοντιών χρησιμοποιήθηκαν επίσης ολογραφικές τεχνικές (laser- holographic techniques) ή τεχνικές strain gauges. Τα strain gauges είναι ηλεκτρικά επιμηκυνσίόμετρα τα οποία επικολλούνται στα σημεία της δομής που επιθυμούμε να μετρήσουμε μια μετακίνηση. Κάθε επιμήκυνση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του strain gauge, που μπορεί να μετρηθεί ηλεκτρικά. Το μειονέκτημα αυτών των τεχνικών ήταν ότι ακόμα και οι πιο μικρές μετακινήσεις της κεφαλής μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ακρίβεια της μετακίνησης των δοντιών (Nagerl και συν., 1991). Σύμφωνα με τους McGuinness και συν. (1991) δεν είναι δυνατή η εισαγωγή των strain gauges μέσα στην περιοδοντική μεμβράνη χωρίς να προκύψει φθορά.

Στις τελευταίες έρευνες για τον καθορισμό του κέντρου αντίστασης, και εν γένει την παρατήρηση της μετακίνησης του δοντιού χρησιμοποιούνται μαγνήτες και μαγνητικό αισθητήρες (Yoshida και συν., 2001a; 2001b).

Πολλές από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν σε ανθρώπινα πτώματα στα οποία όμως οι μηχανικές ιδιότητες του περιοδοντικού συνδέσμου είναι διαφορετικές μετά το θάνατο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα του περιοδοντικού συνδέσμου συνθετικές ουσίες, όπως η σιλικόνη. Δυστυχώς όμως οι ουσίες αυτές δεν έχουν φυσικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του περιοδοντικού συνδέσμου (Vanden Bulcke και συν., 1987).

ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ

Οι Christiansen και Burstone (1969) καθώς και οι Burstone και Pryputniewicz (1980) αναφέρουν ότι το κέντρο αντίστασης βρίσκεται σε ένα σημείο ίσο με το 40% του μήκους της ρίζας του δοντιού από τη φατνιακή ακρολοφία σε ένα μοντέλο δυο διαστάσεων με παραβολικό σχήμα ρίζας ή στο 33% του μήκους της ρίζας του δοντιού σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο με ρίζα σε σχήμα παραβολοειδούς εκ περιστροφής (paraboloid of revolution).

Ο Nikolai (1974) καθορίζει το κέντρο αντίστασης του δοντιού σε απόσταση ίση με το 45% του μήκους της ρίζας σε ένα δισδιάστατο μοντέλο για θεωρητική ανάλυση, ο Davidian (1971) στο 40%, ενώ ο Halazonetis (1996) στο 42%.

Οι διαφορές αυτές οφείλονται στα ανάμοια μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποίησαν οι ερευνητές. Ειδικότερα ο

Many of these techniques were used on human cadavers, where, nevertheless, the mechanical properties of the periodontal ligament differ. For this reason, synthetic substances, such as silicone, were used as substitutes for the periodontal ligament. Unfortunately, the physical properties of these substances are not similar to those of the periodontal ligament (Vanden Bulcke et al., 1987).

LOCATION OF THE CENTER OF RESISTANCE OF A SINGLE TOOTH

Christiansen and Burstone (1969), as well as Burstone and Pryputniewicz (1980) report that the CR lies at a point that equals 40% of the tooth root length measured from the alveolar crest in a two-dimensional model with parabolic root shape or at 33% of the tooth root length in a three-dimensional model with paraboloid of revolution root shape.

Nikolai (1974) locates the CR at a distance equal to 45% of root length in a two-dimensional model made for theoretical analysis, whereas Davidian (1971) places it at 40% and Halazonetis (1996) at 42%.

These differences are due to the different mathematical models used by the various authors. More specifically, Nikolai (1974) used two-dimensional precise models of sphenoid (triangular) roots based on the theory of periodontal membrane elasticity in combination with the equilibrium equations of a rigid tooth. Davidian (1971) developed a simple model for determining the centers of resistance and rotation, simulating the periodontal membrane with springs. Finally, Halazonetis (1996) expanded this method in order to include non-linear properties of the periodontal membrane as well as shearing stresses, even in the case of an anisotropic synthesis of the periodontium (Provatidis and Toutountzakis, 1998).

Nagerl et al. (1991), while intruding a canine into a plastic material, supposedly substituting for the periodontal ligament, found that the center of resistance of the tooth lies at an average height of 34% (27-42%) of its root length.

Tanne et al. (1988) and Vollmer et al. (1999), using finite element models, report that the CR lies at a distance equal to 24% and 42% of the root length of an upper central incisor and canine, respectively. In a later study by Tanne et al. (1991), the upper central incisor's CR was calculated at 34% of this distance. According to

Nikolai (1974) χρησιμοποίησε δισδιάστατα ακριβή μοντέλα σφηνοειδών (τριγωνικών) ριζών με βάση τη θεωρία της ελαστικότητας της περιοδοντικής μεμβράνης σε συνδυασμό με τις εξισώσεις ισορροπίας του άκαμπτου δοντιού, ο Davidian (1971) ανέπτυξε ένα απλό μοντέλο προσδιορισμού των κέντρων αντίστασης και περιστροφής εξομοιώνοντας την περιοδοντική μεμβράνη με ελατήρια, ενώ ο Halazonetis (1996) επέκτεινε αυτή τη μέθοδο ώστε να συμπεριλάβει μη γραμμικές ιδιότητες της περιοδοντικής μεμβράνης καθώς και διατμητικές τάσεις και στην περίπτωση ανισοτροπικής σύνθεσης του περιοδοντίου (Provatidis και Toutountzakis, 1998).

Οι Nagerl και συν. (1991) εμβυθίζοντας έναν κυνόδοντα σε πλαστικό υλικό το οποίο υποτίθεται ότι υποκαθιστά τον περιοδοντικό σύνδεσμο βρήκαν ότι το κέντρο αντίστασης των δοντιών βρίσκεται σε ένα μέσο ύψος 34% (27-42%) του μήκους της ρίζας του.

Οι Tanne και συν. (1988) και οι Vollmer και συν. (1999) χρησιμοποιώντας μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (finite elements models) αναφέρουν ότι το κέντρο αντίστασης βρίσκεται σε απόσταση ίση με 24% και 42% του μήκους της ρίζας του κεντρικού άνω τομέα και κυνόδοντα αντίστοιχα. Σε μία μεταγενέστερη μελέτη των Tanne και συν. (1991) το κέντρο αντίστασης του κεντρικού άνω τομέα υπολογίστηκε στο 34%. Τα διαφορετικά αυτά αποτελέσματα είναι εύκολο να προκύψουν σύμφωνα με τους Provatidis και Toutountzakis (1998) εάν επηρεαστεί μία από τις ακόλουθες τέσσερις παραμέτρους:

- α) Το μέγεθος του μοντέλου γύρω από το εξέταση δόντι
- β) Το είδος των οριακών συνθηκών.
- γ) Ο βαθμός εκκλίπτυνσης του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων που απαιτείται για τη λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Αραιά πλέγματα οδηγούν σε ανακριβή αποτελέσματα.
- δ) Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών.

Οι Poppe και συν. (2002) βρήκαν ότι το κέντρο αντίστασης των μονόριζων δοντιών βρίσκεται σε απόσταση ίση με το 42% του ύψους του φατνιακού πετάλιου.

Οι Yoshida και συν. (2001a) αναφέρουν ότι το κέντρο αντίστασης του κεντρικού άνω τομέα κατά τη διάρκεια της υπερώιας μετακίνησής του βρίσκεται σε απόσταση ίση περίπου με τα 2/3 του υπερώιου ύψους όταν αυτό μετρείται από το ακρορρζίδιο του έως τη φατνιακή ακρολοφία και επομένως εξαρτάται από το επίπεδο του οστού που βρίσκεται υπερώια.

Οι Pedersen και συν. (1991) ισχυρίζονται ότι, σε άτομο

Provatidis and Toutountzakis (1998), these different results are easily derived, if one of the following parameters is affected:

- a) The size of the model surrounding the examined tooth.
- b) The type of terminal conditions.
- c) The degree of refinement of the finite element mesh that is required for reliable results. Coarse meshes lead to inaccurate results.
- d) The values of material mechanical properties.

Poppe et al. (2002) found that the CR of single-rooted teeth lies at a distance equal to 42% of the alveolar plate height.

Yoshida et al. (2001a) report that the CR of a maxillary central incisor during its palatal movement depends on the palatal osseous level and lies at a distance approximately equal to 2/3 of the palatal height, when the latter is measured from the tooth apex to the alveolar crest.

Pedersen et al. (1991) claim that, in a 20-year old individual with normal root length, the CR of lower premolars lies at 40% of their root length.

Consequently, most studies locate the CR of a single-rooted tooth at 33-42% of its root length from the alveolar tip (crest). In a tooth with a 10-mm root, such as the upper central incisor, this difference is less than 1 mm (0.9 mm). However, force systems with less than 1mm precision are not easy to create in a clinical situation. Practically, this means that forces applied on the tooth will always create a moment.

Furthermore, tooth movement following force application may be distinguished in two phases: primary, due to tooth movement within the periodontal membrane and secondary, which follows and is due to bone remodeling (bone apposition and resorption) (Burstone et al., 1982). However, the center of resistance may not be the same during these two phases of tooth movement (Halazonetis, 1996). As a consequence, tooth movement may differ from the one initially planned.

Nevertheless, exact CR location also depends on other factors, such as root length and osseous height around the tooth. The effect of root length is greater than that of bone height. The center of resistance in a canine may be located at 45% of its root length, whereas in a smaller tooth with a 12-mm root may lie at 35% of this distance (Schneider et al., 2002). When root resorption is observed, the CR is displaced toward the tooth crown, due to the

ηλικίας 20 ετών και με φυσιολογικό μήκος ρίζας, το κέντρο αντίστασης των κάτω προγομφίων βρίσκεται στο 40% του μήκους της ρίζας

Συνεπώς, οι περισσότερες έρευνες τοποθετούν το κέντρο αντίστασης του μονόρριζου δοντιού στο 33-42% του μήκους της ρίζας από τη φατνιακή παρυφή (ακρολοφία). Σε ένα δόντι μήκους ρίζας 10 mm όπως είναι ο κεντρικός άνω τομέας η διαφορά αυτή είναι μικρότερη του 1 mm (0,9 mm). Ένα σύστημα, όμως, δυνάμεων με ακρίβεια μικρότερη του 1 mm είναι δύσκολο να κατασκευαστεί στην καθημερινή κλινική πράξη. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στο δόντι θα έχουν σχεδόν πάντα μία ροπή.

Επιπλέον, η κίνηση του δοντιού μετά την εφαρμογή κάποιας δύναμης μπορεί να διακριθεί σε δύο φάσεις: την πρωτογενή η οποία οφείλεται στην μετακίνηση του δοντιού μέσα στην περιοδοντική μεμβράνη και τη δευτερογενή η οποία ακολουθεί και οφείλεται στην επαναδιαμόρφωση του οστού (εναπόθεση και απορρόφηση) (Burstone και συν., 1982). Το κέντρο αντίστασης των δοντιών όμως ενδέχεται να μη συμπίπτει στις δύο φάσεις της κίνησης του δοντιού (Halazonetis, 1996). Κατά συνέπεια η κίνηση του δοντιού μπορεί να είναι διαφορετική από αυτή που έχει σχεδιαστεί.

Η ακριβής θέση του κέντρου αντίστασης, όμως, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως το μήκος της ρίζας του δοντιού και το ύψος του οστού που περιβάλλει το δόντι. Μεγαλύτερη επίδραση έχει το μήκος της ρίζας από το ύψος του οστού. Σε έναν κυνόδοντα το κέντρο αντίστασης μπορεί να βρίσκεται στο 45% του μήκους της ρίζας του δοντιού ενώ σε ένα μικρότερο δόντι με ύψος ρίζας 12 mm στο 35% του μήκους (Schneider και συν., 2002). Όταν παρατηρείται απορρόφηση της ρίζας ενός δοντιού το κέντρο αντίστασης μετατοπίζεται προς τη μύλη του δοντιού όχι μόνο εξαιτίας της μείωσης του μήκους της ρίζας αλλά και της αλλαγής του σχήματός της (Schneider και συν., 2002). Οι Yoshida και συν. (2001a) αναφέρουν ότι το κέντρο αντίστασης του κεντρικού άνω τομέα όταν εφαρμόζονται υπερώιες δυνάμεις εξαρτάται κυρίως από το ύψος του υπερώιου πετάθλου και ελάχιστα από το ύψος του χειλικού οστικού πετάθλου.

Το κέντρο αντίστασης εξαρτάται επίσης από τη διεύθυνση της φόρτισης (loading). Σύμφωνα με τον Nagerl και συν. (1991) η θέση του κέντρου αντίστασης μεταβάλλεται από το 27-42% του μήκους της ρίζας ανάλογα με τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης. Ο Halazonetis (1996) σε

decreased root length as well as the change of root shape (Schneider et al., 2002). Yoshida et al. (2001a) report that, when palatal forces are applied, the CR of an upper central incisor mainly depends on the height of the palatal osseous plate and minimally on that of the labial plate.

The center of resistance also depends on the direction of loading. According to Nagerl et al. (1991), CR location ranges from 27% to 42% of root length, depending on the direction of the applied force. Halazonetis (1996) claims that this change is smaller (4%) in a two-dimensional tooth-periodontium model with anisotropic periodontal ligament.

Vander Bulcke et al. (1986) report that precise CR location may vary depending on tooth morphology, type of periodontal ligament, quality of surrounding bone, tissue response to applied forces, degree of humidity of neighboring osseous structures and tooth axial inclination without, however, mentioning any experimental evidence.

According to Stoeckli and Teuscher (1985), the CR of any unit can only be determined precisely from the clinical situation occurring after force application, as it depends on many factors.

Clinical results, when single-rooted teeth are moved distally, sometimes confirm the theoretical models, but sometimes they do not. Bourauel and Drescher (1994) report that experimental and clinical results following distal movement of maxillary canines were highly consistent. On the contrary, Vollmer et al. (1999) claim that tooth translation is difficult to achieve, because there are tuberosities and cavities on the tooth root affecting stress and strain distribution and, consequently, tooth movement.

Finally, the CR of multi-rooted teeth lies near the root furcation (Moyers, 1988; Bassigny, 1983). Pedersen et al. (1991) claim that CR location in mandibular molars depends on tooth geometry, root length, osseous level and age.

It becomes clear that there are different views concerning CR location. The main reasons are the different methodologies used by authors and the different values of parameters defining CR location (e.g. root length, root shape, force direction, alveolar plate height, etc.). No method is perfect and all of them have advantages and disadvantages, as presented at the beginning of this paper. It is also difficult to standardize all factors affecting CR location, on the one hand, because there are

ένα δισδιάστατο μοντέλο δοντιού – περιοδοντίου με ανισότροπο περιοδοντικό σύνδεσμο ισχυρίζεται ότι η μεταβολή αυτή είναι μικρότερη (4%).

Οι Vander Bulcke και συν. (1986) αναφέρουν ότι η ακριβής θέση του κέντρου αντίστασης μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τη μορφολογία του δοντιού, το είδος του περιοδοντικού συνδέσμου, την ποιότητα του περιβάλλοντος οστού, την ιστική αντίδραση στις ασκούμενες δυνάμεις, την εφύγγραση των παρακείμενων οστικών δομών και την αξονική κλίση του δοντιού χωρίς όμως να αναφέρουν πειραματικά δεδομένα που να το στηρίζουν.

Σύμφωνα με τους Stoeckli και Teuscher (1985) το κέντρο αντίστασης οποιασδήποτε μονάδας, επειδή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, δεν μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια παρά μόνο από την κλινική εικόνα μετά την εφαρμογή της δύναμης.

Τα κλινικά αποτελέσματα όταν επιχειρείται μετακίνηση προς τα άνω των μονόρριζων δοντιών άλλες φορές επιβεβαιώνουν τα θεωρητικά μοντέλα και άλλες όχι. Οι Bourauel και Drescher (1994) αναφέρουν ότι για την άνω μετακίνηση του άνω κυνόδοντα τα πειραματικά και κλινικά αποτελέσματα αντιστοιχούσαν σε μεγάλο βαθμό. Αντίθετα οι Vollmer και συν. (1999) ισχυρίζονται ότι είναι δύσκολο να επιτευχθεί παράλληλη μετακίνηση του δοντιού επειδή η ρίζα του παρουσιάζει εξογκώματα και κοιλότητες οι οποίες επηρεάζουν την κατανομή των τάσεων και των πιέσεων και επομένως την κίνηση του δοντιού.

Τέλος, το κέντρο αντίστασης των δοντιών με πολλές ρίζες (multirrooted teeth) βρίσκεται κοντά στην ένωση των ριζών (Moyers, 1988; Bassigny, 1983). Οι Pedersen και συν. (1991) υποστηρίζουν ότι η θέση του κέντρου αντίστασης του κάτω γομφίου εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοντιού, το μήκος της ρίζας, το επίπεδο του οστού και την ηλικία του ατόμου.

Είναι φανερό ότι οι συγγραφείς δεν συμφωνούν στον καθορισμό του κέντρου αντίστασης. Οι λόγοι είναι κυρίως η διαφορετική μεθοδολογία που ακολουθούν οι ερευνητές καθώς και οι διαφορετικές τιμές των παραμέτρων που καθορίζουν την θέση του κέντρου αντίστασης (π.χ. το μήκος της ρίζας, το σχήμα της, η διεύθυνση των δυνάμεων, το ύψος του φατνιακού πετάλιου κ.λ.π.). Καμία μέθοδος δεν είναι τέλεια, όλες παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα τα οποία αναλύονται στην αρχή του άρθρου. Είναι δύσκολο επίσης να τυποποιηθούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση του κέντρου αντίστασης αφενός μεν επειδή είναι πολλοί, αφε-

many factors involved and, on the other hand, because some of them may not have been or cannot yet be investigated, such as the quality of bone surrounding a tooth. For all the above reasons, it is difficult to design future research. New research is needed in order to identify factors that may affect CR location, such as type of periodontal ligament, bone quality, tooth inclination, etc. Research must be performed on living organisms, whenever possible, in order to avoid simplifications involving bone and periodontium. Such research is now feasible (Yoshida et al., 2001a; 2001b).

LOCATION OF THE CENTER OF RESISTANCE OF A GROUP OF TEETH

During orthodontic treatment it is often necessary to move a group of teeth in a specific direction. The orthodontist should know the center of resistance of this tooth group in order to effectively achieve such movement.

1. Center of resistance of anterior maxillary teeth

CR location during intrusion

Anterior tooth intrusion is often the goal in patients with gummy smile or short upper lip or in patients with increased mandibular plane angle (Burstone, 1977).

Dermaut and Vanden Bulcke (1986) used brackets and the Begg technique to study dental intrusion in dry skulls. The CR of the four upper incisors is distal to the upper laterals, whereas the CR of the six upper anterior teeth is distal to the canines. However, moments and independent tooth movements are observed, especially when the system includes two teeth and to a lesser extent when all six anterior teeth are included. For this reason, it is impossible to find the CR of the two central incisors using this technique (Dermaut and Vanden Bulcke, 1986). Toutountzakis and Mavreas (1989), in order to manage these movements in clinical practice, recommend that incisors be tied together with a figure-eight stainless steel ligature.

Vanden Bulcke et al. (1986) used the same method, but intruded teeth within a metal splint. The center of resistance of upper central incisors during intrusion lies on a line parallel to the mid-sagittal plane on a point situated at the distal half of the canines, whereas the CR of all four maxillary incisors is located on a line

τέρου δε επειδή κάποιοι πιθανόν να μην έχουν ερευνηθεί ή να μην μπορούν να ερευνηθούν ακόμα όπως π.χ. η ποιότητα του οστού που περιβάλλει το δόντι. Για όλους αυτούς τους λόγους ο σχεδιασμός των μελλοντικών ερευνών είναι αρκετά δύσκολος. Χρειάζονται νέες ερευνητικές προσπάθειες για τους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν τη θέση του κέντρου αντίστασης όπως το είδος του περιοδοντικού συνδέσμου, η ποιότητα του οστού, η κλίση του δοντιού κ.λ.π. Οι έρευνες πρέπει να γίνονται σε ζώντες οργανισμούς, όταν αυτό είναι δυνατό, για να αποφεύγονται οι απλουστεύσεις οι οποίες σχετίζονται με το οστό και το περιοδόντιο. Οι έρευνες αυτές είναι πλέον δυνατές (Yoshida και συν., 2001a; 2001b).

ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΟΜΑΔΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ

Κατά τη διάρκεια της ορθοδοντικής θεραπείας πολλές φορές είναι απαραίτητη η μετακίνηση μίας ομάδας δοντιών προς μια ορισμένη κατεύθυνση. Ο ορθοδοντικός για να πραγματοποιήσει αποτελεσματικά αυτές τις κινήσεις πρέπει να γνωρίζει το κέντρο αντίστασης της ομάδας των δοντιών.

1. Θέση του κέντρου αντίστασης των άνω προσθίων

Θέση του κέντρου αντίστασης κατά την εμπύθιση

Η εμπύθιση των προσθίων δοντιών επιδιώκεται συχνά σε ασθενείς με ουλικό χαμόγελο ή κοντό άνω χείλος ή σε ασθενείς με αυξημένη γωνία του επιπέδου της κάτω γνάθου (Burstone, 1977).

Οι Dermaut και Vanden Bulcke (1986) χρησιμοποίησαν τα άγκιστρα και την τεχνική Begg για να μελετήσουν την εμπύθιση των δοντιών σε ξηρά κρανία. Το κέντρο αντίστασης των τεσσάρων άνω τομέων βρίσκεται κατά προσέγγιση άνω των άνω πηλαγίων ενώ το κέντρο των έξι άνω προσθίων άνω των κυνοδόντων. Παρόλα αυτά παρατηρούνται ροπές και ανεξάρτητες μετακινήσεις δοντιών ιδίως όταν το σύστημα περιλαμβάνει δύο δόντια και μικρότερες όταν περιλαμβάνει έξι δόντια. Για το λόγο αυτό με αυτή τεχνική είναι αδύνατο να βρεθεί το κέντρο αντίστασης των δύο κεντρικών άνω τομέων (Dermaut και Vanden Bulcke, 1986). Στην κλινική πράξη για να αντιμετωπιστούν αυτές οι μετακινήσεις οι Toutountzakis και Mavreas (1989) συνιστούν οι τομείς να δένονται μεταξύ τους με τη βοήθεια μεταλλικής πρόσδεσης σε σχήμα οκτώ.

Οι Vanden Bulcke και συν. (1986) χρησιμοποίησαν την

perpendicular to the occlusal plane between canines and first premolars. These two centers of resistance are at a 2-mm distance from each other (Vanden Bulcke et al., 1986). On the contrary, the CR of the six upper anterior teeth is located on a line perpendicular to the occlusal plane distal to the first premolars (Vanden Bulcke et al., 1986). The center of resistance during intrusion does not change significantly as force magnitude increases.

Greenfield (1993), without referring to his sources, reports that the CR of the four upper incisors lies on the line dissecting the cemento-enamel junction at the palatal surface of the upper central incisors. In the figure of this paper, the center of resistance is shown to be distal to the lateral incisor.

Many authors, such as Shroff et al. (1995) and, Lindauer and Isaacson (1995), who use the segmented arch technique for maxillary incisor intrusion, do not mention the CR of upper incisors in their main paper, but they depict it in their figures situated distally to and above the upper lateral incisor bracket. This research is obviously based on the paper by Dermaut and Vanden Bulcke (1986), who studied intrusion using the Begg technique and brackets. However, according to these authors, their results cannot be consistently applied in clinical practice. The use of Araldite, as a substitute for the periodontal ligament, and dry skulls for studying tooth movement pose certain limitations. Furthermore, moments and independent tooth movements have been observed during intrusion. These movements of anterior teeth occur even with edgewise brackets (Vanden Bulcke et al., 1986). For this reason, Vanden Bulcke et al. (1986) used a similar method, but intruded teeth within a metal splint. However, their results differed.

Pedersen et al. (1991) report that the centers of resistance of the two maxillary central incisors and of all four incisors are located approximately 13 mm posteriorly to the upper central incisor brackets on a line that passes 3 mm in front of the canine distal surface. The CR of the six maxillary anterior teeth lies 6 mm further posteriorly (Fig. 1).

Location of the center of CR during palatal movement

Vanden Bulcke et al. (1987) used a metal splint within which they intruded teeth in two dry skulls and examined the CR of anterior teeth during palatal movement. The center of resistance of maxillary central incisors lies approximately 3.5 mm apically to the incisor interproximal bone level; that of the four upper incisors 5

ίδια μέθοδο με τους προηγούμενους συγγραφείς εμβύθισαν όμως τα δόντια σε ένα μεταλλικό νάρθηκα. Το κέντρο αντίστασης των δύο κεντρικών άνω τομέων κατά τη διάρκεια της εμβύθισης βρίσκεται σε μία γραμμή παράλληλη με το μέσο οβελιαίο επίπεδο στο άνω ήμισυ των κυνοδόντων, ενώ των τεσσάρων άνω τομέων σε μία γραμμή κάθετη στο συγκλειακό επίπεδο μεταξύ των κυνοδόντων και των πρώτων προγομφίων. Τα δύο κέντρα αντίστασης βρίσκονται σε απόσταση περίπου 2 mm το ένα από το άλλο (Vanden Bulcke και συν., 1986). Αντίθετα το κέντρο αντίστασης των έξι άνω προσθίων βρίσκεται σε μία γραμμή κάθετη στο συγκλειακό επίπεδο άνω των πρώτων προγομφίων (Vanden Bulcke και συν., 1986). Το κέντρο αντίστασης κατά τη διάρκεια της εμβύθισης δε μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση της έντασης των δυνάμεων.

Ο Greenfield (1993) αναφέρει, χωρίς όμως να αποκαλύπτει τις πηγές του, ότι το κέντρο αντίστασης των τεσσάρων άνω τομέων βρίσκεται πάνω στην ευθεία η οποία διατέμνει την οστεϊνο-αδαμαντινική ένωση στη υπερώια πλευρά των άνω κεντρικών τομέων. Η θέση του κέντρου αντίστασης στο σχήμα του άρθρου φαίνεται να βρίσκεται άνω του πλάγιου τομέα.

Πολλοί συγγραφείς οι οποίοι χρησιμοποιούν τμηματικές τεχνικές για την εμβύθιση των άνω τομέων όπως ο Shroff και συν. (1995), οι Lindauer και Isaacson (1995) δεν αναφέρουν, συστηματικά, το κέντρο αντίστασης των άνω τομέων στο κύριο μέρος των άρθρων τους αλλά το απεικονίζουν μόνο στα σχήματά τους άνω και πάνω από το αγκύλιο του πλάγιου άνω τομέα. Οι συγγραφείς αυτοί στηρίζονται προφανώς στο άρθρο των Dermaut και Vanden Bulcke (1986) οι οποίοι μελέτησαν την εμβύθιση χρησιμοποιώντας τα αγκύλια και την τεχνική Begg. Τα αποτελέσματά τους όμως, σύμφωνα με τους ίδιους τους συγγραφείς, δεν μπορούν να μεταφερθούν πιστά στην κλινική πράξη. Η χρήση του Araldite σαν υποκατάστατο του περιοδοντικού συνδέσμου όπως και του ξηρού κρανίου στη μελέτη των οδοντικών μετακινήσεων έχουν ορισμένους περιορισμούς. Επιπλέον κατά τη διάρκεια της εμβύθισης παρατηρήθηκαν ροπές και ανεξάρτητες μετακινήσεις δοντιών. Οι ανεξάρτητες αυτές μετακινήσεις των προσθίων δοντιών συμβαίνουν ακόμα και με αγκύλια edgewise (Vanden Bulcke και συν., 1986). Για το λόγο αυτό οι Vanden Bulcke και συν. (1986) χρησιμοποίησαν παρόμοια μέθοδο αλλά εμβύθισαν τα δόντια σε ένα μεταλλικό νάρθηκα. Τα αποτελέσματα όμως ήταν διαφο-

mm apically and of all six upper anterior teeth 7 mm apically (Vanden Bulcke et al., 1987).

These absolute values, according to the previous authors, cannot be applied in clinical practice. Differences in the anatomy of tooth, bone and periodontal ligament may shift the location of the center of resistance, which involves only the initial tooth movement. The system with the metal splint within which teeth are intruded is not used in routine clinical practice, where teeth are engaged in an archwire and tooth movements are allowed, at least to a certain degree.

Pedersen et al. (1991), measuring jaws of non-living humans following autopsy, report that the CR of the two upper central incisors and of all upper anterior teeth is found at almost the same location (6.5 mm apical to the brackets of the upper central incisors). The center of resistance of the four upper incisors lies more incisally (5 mm apical to the brackets of upper central incisors) (Fig. 1).

Melsen et al. (1990), based on a theoretical model, support the view that the CR of the six upper anterior teeth is located halfway between the midpoint of the four incisors' center of resistance and the canines' center of resistance.

The CR of upper anterior teeth differs from one individual to another and depends on root length and upper anterior tooth inclination. According to these authors, the CR of upper anterior teeth at the horizontal plane lies 0.72 mm distally to the maxillary canine bracket (Fig. 2). Bourauel and Drescher (1994), using a modified Burstone T loop, report that the experimental and clinical results during palatal movement of upper incisors are not highly consistent. According to these authors, the CR of upper incisors cannot yet be accurately determined.

Yoshida et al. (2001b) found that the CR of either two or four upper incisors more or less coincide at 4.3 mm apically to the palatal osseous plate, whereas the CR of the 6 upper anterior teeth lies 0.8 mm more incisally. These authors compared their study to those of Vanden Bulcke et al. (1987) and Pedersen et al. (1991) by measuring from the incisal edge of upper incisors. They report that, during retraction, the CR of the two upper central incisors seems to be located between 10.3 and 11.1 mm from the incisal edge, of the four upper incisors between 8.1 and 12.3 mm and of the six upper anterior teeth between 10.5 and 13.7 mm from the incisal edge (Vanden Bulcke et al., 1987; Pedersen et al., 1991;

ρετικά.

Οι Pedersen και συν. (1991) αναφέρουν ότι τα κέντρα αντίστασης των δύο άνω κεντρικών τομέων και των τεσσάρων άνω τομέων βρίσκονται περίπου 13 mm πίσω από τα αγκύλια των άνω κεντρικών τομέων σε μία γραμμή 3 mm μπροστά από την άπω επιφάνεια των κυνόδοντων. Το κέντρο αντίστασης των έξι άνω προσθίων βρίσκεται 6 mm πιο πίσω (Εικ. 1).

Θέση του κέντρου αντίστασης κατά την υπερώια μετακίνηση

Οι Vanden Bulcke και συν. (1987) χρησιμοποιώντας έναν μεταλλικό νάρθηκα στον οποίο εμβύθισαν τα δόντια εξέτασαν το κέντρο αντίστασης των προσθίων δοντιών κατά τη διάρκεια της υπερώιας μετακίνησης σε δύο ξηρά κρανία. Το κέντρο αντίστασης των δύο κεντρικών άνω τομέων βρίσκεται 3,5 mm περίπου ακρορριζικά από το επίπεδο του οστού μεταξύ των τομέων (interproximal bone level) των τεσσάρων άνω τομέων 5 mm και των έξι άνω προσθίων 7 mm (Vanden Bulcke και συν., 1987).

Οι απόλυτοι αυτοί αριθμοί δε μπορούν να μεταφερθούν σύμφωνα με τους προηγούμενους συγγραφείς στην κλινική πράξη. Οι διαφορές στην ανατομία του δοντιού, του οστού και στο περιρριζίο μπορούν να αλλιάξουν τη θέση του κέντρου αντίστασης η οποία επιπλέον δεν αφορά όλη την κίνηση του δοντιού αλλιά μόνο την αρχική. Το σύστημα με τον μεταλλικό νάρθηκα στον οποίο εμβυθίζονται τα δόντια δε χρησιμοποιείται στην καθημερινή κλινική πράξη όπου τα δόντια συνήθως συνδέονται με μεταλλικό σύρμα και επιτρέπονται σε κάποιο βαθμό οι μετακινήσεις των δοντιών.

Οι Pedersen και συν. (1991) κάνοντας μετρήσεις σε γνάθους μη ζώντων ανθρώπων μετά από νεκροψία αναφέρουν ότι το κέντρο αντίστασης των δύο κεντρικών άνω τομέων και των άνω προσθίων βρίσκεται σχεδόν στην ίδια θέση (6,5 mm πάνω από τα αγκύλια των κεντρικών άνω τομέων) ενώ αυτό των τεσσάρων άνω τομέων πιο κοπτικά (5 mm πάνω από τα αγκύλια των κεντρικών άνω τομέων) (Εικ. 1).

Οι Melsen και συν. (1990) βασισμένοι σε ένα θεωρητικό μοντέλο ισχυρίζονται ότι το κέντρο αντίστασης των έξι άνω προσθίων βρίσκεται στο μέσο της απόστασης (halfway) μεταξύ του μέσου (midpoint) των κέντρων αντίστασης των τεσσάρων άνω τομέων και του κέντρου αντίστασης του κυνόδοντα. Το κέντρο αντίστασης των άνω προσθίων διαφέρει από άτομο σε άτομο και εξαρτάται

Yoshida et al., 2001a). Thus, the exact location of the centers of resistance is not known, especially in the case of upper incisors and upper anterior teeth; all we know is its approximate location.

Finally, Matsui et al. (2000), in a photoelastic model, found that the CR of the four upper incisors is located at the mid-sagittal plane, 4 mm posterior to and 6 mm above the labial alveolar crest of the upper central incisors. The authors attributed this difference; with the other studies to the use of the photoelastic material and to the 6-mm space created between lateral incisor and canine.

There are many studies that are concerned with maxillary incisor palatal movement. Below, we indicatively present several studies, where different centers of resistance are used.

Park et al. (2000) claim to have achieved translation of anterior teeth with a lever arm system and lingual brackets; however, they do not mention the CR of teeth, although they design it.

Choy et al. (2002) invented the SDRS system for palatal movement of upper anterior teeth. They, too, do not mention the CR, although they design it.

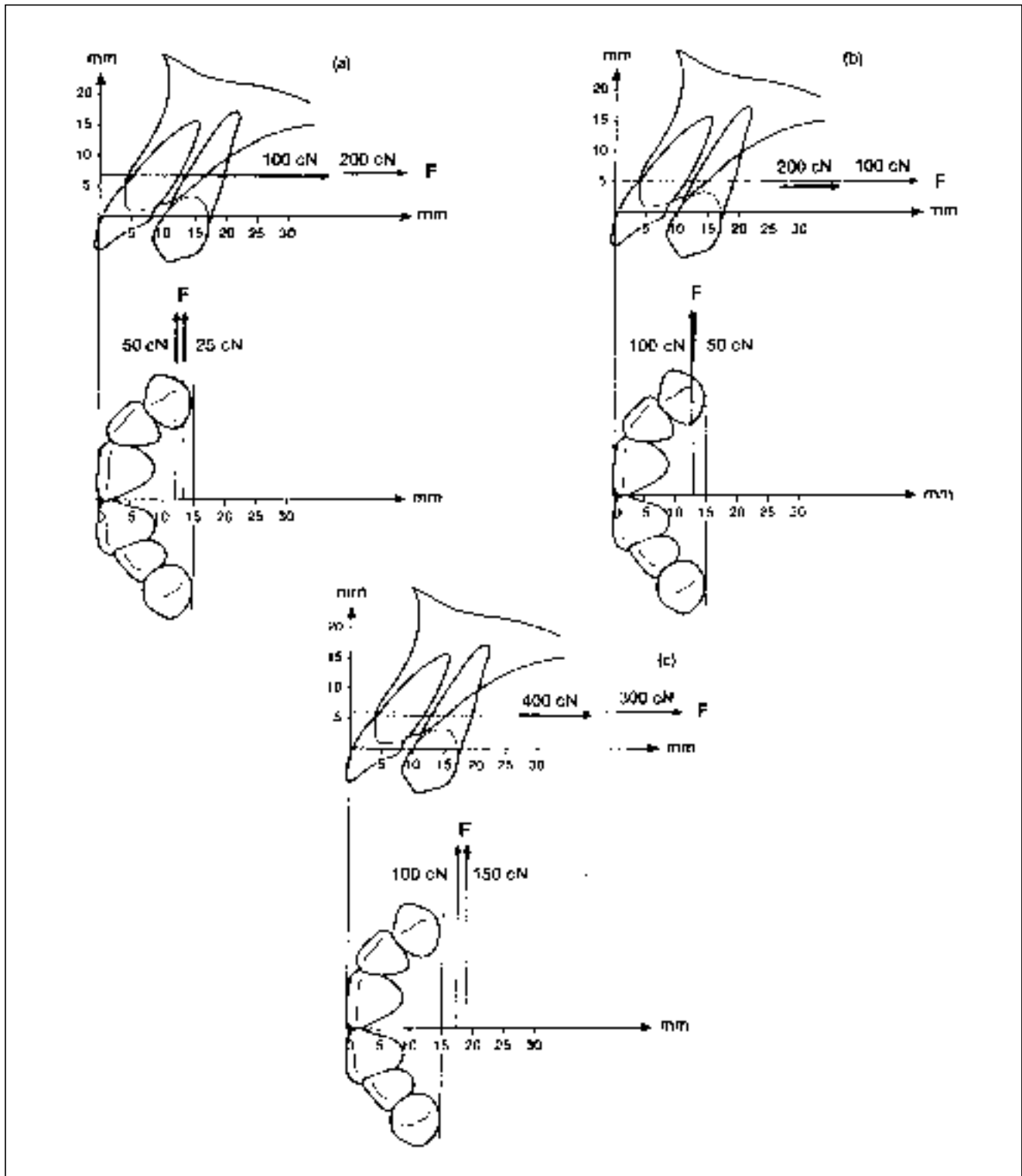
Kim et al. (2004) use the C-lingual retractor for palatal movement and intrusion of upper anterior teeth. For determining the center of resistance they depend on the study by Vanden Bulcke et al. (1986).

Guray and Orhan (1997) use an anterior headgear for palatal movement of upper anterior teeth. They use the study by Melsen et al. (1990) to determine the center of resistance.

Gjessing (1992) invents the PG spring for palatal movement of upper incisors. For the center of resistance of upper anterior teeth he uses Pedersen's definition.

These studies consist of a theoretical part including the principles of the system proposed for palatal movement of anterior teeth, experimental data and a clinical case showing the action of the appliance. These systems cannot be easily compared, but they have a sound theoretical basis and their results, at least in the clinical cases shown, are excellent. Most authors use forces or forces and moments for retraction of maxillary incisors or anterior teeth and select a CR. However, it is not possible to decide whether the center of resistance has been correctly determined or not. Nevertheless, the definitions given by Pedersen et al. (1991) and Melsen et al. (1990) are quite similar.

A review of the literature shows that most researchers do



Εικόνα 1. α) Οριζόντιες και κάθετες δυνάμεις διερχόμενες από το κέντρο αντίστασης των άνω κεντρικών τομέων. β) Οριζόντιες και κάθετες δυνάμεις διερχόμενες από το κέντρο αντίστασης των τεσσάρων άνω τομέων. γ) Οριζόντιες και κάθετες δυνάμεις διερχόμενες από το κέντρο αντίστασης των έξι άνω προσθίων. (Από: Pedersen και συν. (1991), κατόνυ αδείας του Oxford University Press.)

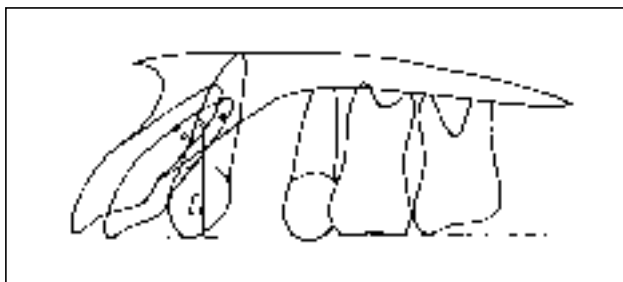
Figure 1. Horizontal and perpendicular forces passing through the center of resistance of upper central incisors. β) Horizontal and perpendicular forces passing through the center of resistance of the four upper incisors. γ) Horizontal and perpendicular forces passing through the center of resistance of the six upper anterior teeth. (From: Pedersen et al. (1991), with permission of Oxford University Press.)

από το μήκος των ριζών και τις κλίσεις των άνω προσθίων. Σύμφωνα με τους προηγούμενους συγγραφείς το κέντρο αντίστασης των άνω προσθίων στο οριζόντιο επίπεδο βρίσκεται 0.72 mm άπω του αγκυλίου του άνω κυνόδοντα (Εικ. 2).

Οι Bourauel και Drescher (1994) χρησιμοποιώντας μια τροποποιημένη αγκυλή T του Burstone αναφέρουν ότι στην υπερώια μετακίνηση των άνω τομέων τα πειραματικά και κλινικά αποτελέσματα δεν αντιστοιχούν σε μεγάλο βαθμό. Σύμφωνα με τους προηγούμενους συγγραφείς η θέση του κέντρου αντίστασης των άνω τομέων δεν έχει πλήρως αποσαφηνισθεί.

Οι Yoshida και συν. (2001b) βρίσκουν ότι το κέντρο αντίστασης των δύο και των τεσσάρων άνω τομέων συμπίπτουν λίγο πολύ και βρίσκονται 4,3 mm ακρορριζικά του υπερώιου πετάλιου ενώ αυτό των 6 προσθίων 0,8 mm πιο κοπτικά. Οι προηγούμενοι συγγραφείς προσπάθησαν να συγκρίνουν τις εργασίες των Vanden Bulcke και συν. (1987), Pedersen και συν. (1991) με τη δική τους μετρώοντας από την κοπτική επιφάνεια των άνω τομέων. Σύμφωνα με αυτούς κατά την έλξη, το κέντρο αντίστασης των δύο άνω κεντρικών τομέων φαίνεται να βρίσκεται μεταξύ των 10,3 και 11,1 mm, των τεσσάρων άνω τομέων μεταξύ των 8,1 και των 12,3 mm και των έξι άνω προσθίων μεταξύ των 10,5 και 13,7 mm από την κοπτική επιφάνεια των άνω τομέων (Vanden Bulcke και συν., 1987; Pedersen και συν., 1991; Yoshida και συν., 2001a). Δεν είναι γνωστή επομένως η ακριβής θέση των κέντρων αντίστασης, ιδίως των άνω τομέων και των άνω προσθίων αλληλά η περιοχή γύρω από την οποία πιθανόν να εντοπίζονται.

Τέλος, οι Matsui και συν. (2000) σε ένα φωτοελαστικό



Εικόνα 2. Το κέντρο αντίστασης των άνω προσθίων σύμφωνα με τους Melsen και συν. (1990). (Από: Melsen και συν. (1990), κατόπιν αδείας του J Clin Orthod.)

Figure 2. The center of resistance of maxillary anterior teeth according to Melsen et al. (1990). (From: Melsen και συν. (1990), with permission of J Clin Orthod.)

not consider a definitive; center of resistance in their experimental studies, but rather the center of resistance during palatal movement or intrusion without referring to other types of tooth movement (occlusal movement etc.) (Dermaut and Vanden Bulcke, 1986; Vanden Bulcke et al., 1986; Vanden Bulcke et al., 1987; Yoshida et al., 2001b). In the conclusion section of the studies they refer to the location of the center of resistance during palatal movement or intrusion, always taking only one dimension into account.

Even researchers who investigated CR location during palatal movement or intrusion, such as Pedersen et al. (1991) did in the same skull and, Vanden Bulcke et al. (1986) and Vanden Bulcke et al. (1987) in two separate studies with similar methodology, do not report that the two centers coincide.

The center of resistance may differ depending on the direction of the applied force. The CR of a single-rooted tooth is different during palatal movement and intrusion (Nagerl et al., 1991). In certain segmented arch techniques, such as the three-piece intrusion arch, the force, although mainly intrusive, also has a palatal component that may change the theoretical center of resistance. The segmented arch technique for upper incisor intrusion offers many advantages and is often the only effective method in clinical practice. However, practical results may vary somewhat from their theoretical background.

2. Location of the center of resistance of other groups of teeth

Some authors determine centers of resistance based on clinical observations and not on experimental or laboratory data; therefore, their findings must be examined critically (Papadopoulos and Christou, 2000). The CR of upper incisors and first molars connected through a segmented arch lies at the point of dissection of the mid-sagittal plane and a plane parallel to the frontal plane passing through the mesiobuccal roots of maxillary first molars (Stoekli and Teuscher, 1985). Finally, the center of resistance of the upper arch with full fixed appliances lies at the point of dissection of the mid-sagittal plane and a plane parallel to the frontal plane, passing through the roots of the two premolars and is perpendicular to the occlusal plane (Stoekli and Teuscher, 1985).

μοντέλο βρήκαν ότι το κέντρο αντίστασης των τεσσάρων άνω τομέων τοποθετείται στο μέσο οβελιαίο επίπεδο 4 mm πίσω και 6 mm πάνω από τη χειλική φατνιακή ακρολοφία των κεντρικών άνω τομέων. Οι συγγραφείς απέδωσαν τη διαφορά με τις άλλες μελέτες στη χρήση φωτοελαστικού υλικού και στο διάστημα των 6 mm που υπήρχε μεταξύ του πηλαγίου άνω τομέα και του κυνόδοντα.

Υπάρχουν πολλές εργασίες για την υπερώια μετακίνηση των άνω τομέων. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικές οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά κέντρα αντίστασης.

Οι Park και συν. (2000) ισχυρίζονται ότι επέτυχαν παράλληλη μετακίνηση των προσθίων δοντιών με ένα σύστημα lever-arm και γλωσσικά αγκύλια χωρίς να αναφέρουν το κέντρο αντίστασης των δοντιών παρά μόνο το σχεδίασαν. Οι Choy και συν. (2002) επινοούν ένα σύστημα (SDRS) για την υπερώια μετακίνηση των άνω προσθίων, δεν αναφέρουν όμως ούτε αυτοί το κέντρο αντίστασης αλλά μόνο το σχεδιάζουν.

Οι Kim και συν. (2004) χρησιμοποιούν τον C-lingual retractor για την υπερώια μετακίνηση και εμβύθιση των άνω προσθίων. Για τον ορισμό του κέντρου αντίστασης των άνω προσθίων στηρίζονται στη μελέτη των Vanden Bulcke και συν. (1986).

Οι Guray και Orhan (1997) χρησιμοποιούν εξωστοματικό τόξο (anterior headgear) για την υπερώια μετακίνηση των άνω προσθίων. Για να ορίσουν το κέντρο αντίστασης των άνω προσθίων επιλέγουν την εργασία της Melsen και συν. (1990).

Ο Gjessing (1992) επινοεί το ελατήριο PG για την υπερώια μετακίνηση των άνω τομέων. Για το κέντρο αντίστασης των άνω προσθίων χρησιμοποιεί τον ορισμό του Pedersen.

Στις εργασίες αυτές αναφέρονται στο θεωρητικό μέρος οι αρχές λειτουργίας του συστήματος που προτείνεται για την υπερώια μετακίνηση των άνω προσθίων, μερικές φορές κάποια πειραματικά δεδομένα και τέλος παρουσιάζεται ένα κλινικό περιστατικό στο οποίο δείχνεται η λειτουργία του μηχανήματος. Τα συστήματα αυτά είναι δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους έχουν όμως μια σωστή θεωρητική βάση και τα αποτελέσματα τουλάχιστον στα κλινικά περιστατικά είναι εξαιρετικά. Οι περισσότεροι συγγραφείς χρησιμοποιούν δυνάμεις ή δυνάμεις και ροπές για την έλξη των άνω τομέων ή των άνω προσθίων, επιλέγουν ένα κέντρο αντίστασης χωρίς όμως να υπάρχει δυνατότητα να κρίνουμε ποιος είναι ο σωστός ορισμός ή αν υπάρχει σωστός. Οι ορισμοί όμως των Pedersen και

CONCLUSIONS

The center of resistance of single-rooted teeth is located between 33% and 42% of the root length when measured from the alveolar crest.

The center of resistance of a group of teeth varies according to the number of teeth. Most research studies concern maxillary incisors and maxillary anterior teeth. However, there are serious objections about CR location during palatal movement and intrusion, which may challenge the clinical orthodontist. Furthermore, our knowledge concerning the factors affecting the location of the CR of tooth groups is very limited; this may be due to the fact that these factors are not easily measured in groups of teeth; e.g., what root length or what alveolar plate height should be measured when intrusion of the four upper incisors is attempted? Perhaps mathematical models will resolve this issue in the future. However, an orthodontist treats patients rather than centers of resistance. If a method is successfully tested in the clinical practice, a clinician may use it.

References

- Bassigny F. Le traitement des anomalies orthodontiques. In Bassigny F. Manuel d' orthopedie dento-faciale. Paris: Masson, 1983:117-202.
- Bourauel C, Drescher D. Retraction of the upper incisors with pseudoplastic treatment elements. Their computational and biomechanical testing and clinical use. Fortschr Kieferorthop 1994;55:36-44.
- Burstone CJ, Every TW, Pryputniewicz RJ. Holographic measurement of incisor extrusion. Am J Orthod 1982;82:1-9.
- Burstone CJ. Deep overbite correction by intrusion. Am J Orthod 1977;72:1-22.
- Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic evaluation of centers of rotation produced by orthodontic forces. Am J Orthod 1980;77:396-409.
- Choy K, Pae EK, Kim KH, Park YC, Burstone CJ. Controlled space closure with a statically determinate retraction system. Angle Orthod 2002;72:191-8.
- Christiansen RL, Burstone CJ. Centers of rotation within the periodontal space. Am J Orthod 1969;55:353-69.
- Davidian EJ. Use of a computer model to study the force distribution on the root of a maxillary central incisor. Am J Orthod 1971;59:581-8.
- Dermaut LR, Vanden Bulcke MM. Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry. Am J Orthod 1986;89:251-63.
- Fung YC. Biomechanics, the mechanical properties of living tissues.

συν. (1991) και των Melsen και συν. (1990) βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας με τον άλλο.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας γίνεται φανερό ότι οι περισσότεροι ερευνητές στις πειραματικές τους εργασίες δεν εξετάζουν ένα ενιαίο κέντρο αντίστασης των δοντιών αλλά το κέντρο αντίστασης κατά την υπερώια μετακίνηση ή την εμβύθιση χωρίς να αναφέρονται σε άλλες μορφές μετακίνησης των δοντιών (μασητική μετακίνηση, κ.λ.π.) (Dermaut και Vanden Bulcke, 1986; Vanden Bulcke και συν., 1986; Vanden Bulcke και συν., 1987; Yoshida και συν., 2001b). Στα συμπεράσματά τους κάνουν αναφορά στη θέση του κέντρου αντίστασης κατά την υπερώια μετακίνηση ή την εμβύθιση πάντοτε όμως σε μία διάσταση.

Ακόμα και οι ερευνητές που εξέτασαν το κέντρο αντίστασης κατά την υπερώια μετακίνηση και την εμβύθιση όπως οι Pedersen και συν. (1991) στο ίδιο κρανίο και οι Vanden Bulcke και συν. (1986) και Vanden Bulcke και συν. (1987) σε δύο χωριστές εργασίες με παρόμοια μεθοδολογία δεν αναφέρουν ότι τα δύο κέντρα συμπίπτουν.

Το κέντρο αντίστασης των δοντιών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης. Το κέντρο αντίστασης π.χ. ενός μονόρριζου δοντιού διαφέρει στην υπερώια μετακίνηση και στην εμβύθιση (Nagerl και συν., 1991). Σε ορισμένες τμηματικές τεχνικές όπως το τμηματικό τόξο τριών τεμαχίων (three-piece intrusion arch) η δύναμη, αν και είναι κυρίως εμβύθισης, έχει και μία υπερώια συνιστώσα η οποία όμως ίσως αλλάζει το θεωρητικό κέντρο αντίστασης. Η τμηματική τεχνική για την εμβύθιση των άνω τομέων έχει πολλά πλεονεκτήματα και πολλές φορές στην καθημερινή κλινική πράξη είναι η μόνη αποτελεσματική. Παρόλα αυτά, τα πρακτικά αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν λίγο ή πολύ από τα θεωρητικά.

2. Θέση του κέντρου αντίστασης άλλων ομάδων δοντιών

Ορισμένοι συγγραφείς ορίζουν κέντρα αντίστασης στηριζόμενοι σε κλινικές παρατηρήσεις και όχι σε πειραματικά ή εργαστηριακά δεδομένα και επομένως τα ευρήματά τους πρέπει να εξετάζονται με μεγάλη προσοχή (Papadopoulos και Christou, 2000). Το κέντρο αντίστασης των άνω τομέων και των πρώτων γομφίων οι οποίοι συνδέονται με ένα τμηματικό τόξο βρίσκεται στο σημείο τομής του μέσου οβελιαίου επιπέδου και ενός επιπέδου παράλληλου με το μετωπιαίο που περνά από τις εγγύς παρειάκες ρίζες των πρώτων

2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1993.

- Gjessing P. Controlled retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:120-31.
- Greenfield RL. Simultaneous torquing and intrusion auxiliary. *J Clin Orthod* 1993;27:305-18.
- Guray E, Orhan M. "En Masse" retraction of maxillary anterior teeth with anterior headgear. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;112:473-9.
- Halazonetis DJ. Computer experiments using a two-dimensional model of tooth support. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:598-606.
- Kim SH, Park YG, Chung K. Severe class II anterior deep bite malocclusion treated with a C-lingual retractor. *Angle Orthod* 2004;74:280-5.
- Lindauer SJ, Isaacson RJ. One-couple orthodontic appliance systems. *Sem Orthod* 1995;1:12-24.
- Moyers RE. Force systems and tissue responses to forces in orthodontics and facial orthopedics. In Moyers RE. *Handbook of orthodontics*, 4th edition. Chicago: Year Book Medical Publishers Inc, 1988:306-31.
- Matsui S, Caputo AA, Chaconas SJ. Center of resistance of anterior arch segment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118-71.
- McGuinness NJP, Wilson AN, Jones ML, Middleton J. A stress analysis of the periodontal ligament under various orthodontic loadings. *Eur J Orthod* 1991;13:231-42.
- Melsen B, Fotis V, Burstone CJ. Vertical forces considerations in differential space closure. *J Clin Orthod* 1990;24:678-83.
- Nagerl H, Burstone CJ, Becker B, Kubein-Messenburg D. Centers of rotation with transverse forces: an experimental study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:337-45.
- Nanda R, Kuhlberg A. Principles of biomechanics. In: Nanda: R, ed. *Biomechanics in clinical orthodontics*. Philadelphia: WB Saunders Company, 1997:1-22.
- Nikolai RJ. Periodontal ligament reaction and displacements of a maxillary central incisor subjected to transverse crown loading. *J Biomech* 1974;7:93-9.
- Papadopoulos MA, Christou PK. Centers of resistance of the maxillary complex: Theoretical models and practical applications in orthodontics. *Hell Orthod Rev* 2000;3:35-51.
- Park JB, Lakes RS. *Biomaterials: an introduction*. 2nd edition. New York: Plenum press, 1992.
- Park YC, Choy K, Lee JS, Kim TK. Lever-arm mechanics in lingual orthodontics. *J Clin Orthod* 2000;34:601-5.
- Pedersen E, Isidor F, Gjessing P, Andersen K. Location of centres of resistance for maxillary anterior teeth measured on human autopsy material. *Eur J Orthod* 1991;13:452-8.
- Poppe M, Bourauel C, Jager A. Determination of the elasticity parameters of the human periodontal ligament and the location of the center of resistance of single-root teeth. *Fortschr Kieferorthop* 2002;63:358-70.
- Proffit WR, Fields HW. Mechanical principles in orthodontic force control. In Proffit WR, Fields HW. *Contemporary orthodontics*. St Louis: CV Mosby, 2000:326-61.
- Provatidis CG, Toutountzakis NE. A critical review of older and contemporary applications of biomechanical method in orthodontics. *Hell Orthod Rev* 1998;1:27-49.

άνω μόνιμων γομφίων (Stoeckli και Teuscher, 1985). Τέλος το κέντρο αντίστασης του άνω οδοντικού φραγμού ο οποίος συνδέεται με ακίνητες ορθοδοντικές συσκευές βρίσκεται στο σημείο τομής του μέσου οβελιαίου επιπέδου και ενός επιπέδου παράλληλου με το μετωπιαίο και διέρχεται μεταξύ των ριζών των δύο προγομφίων και είναι κάθετη στο συγκλησιακό επίπεδο (Stoeckli και Teuscher, 1985).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κέντρο αντίστασης των μονόριζων δοντιών βρίσκεται ανάμεσα στο 33-42% του μήκους της ρίζας όταν η μέτρηση γίνεται από τη φατνιακή ακρολοφία.

Το κέντρο αντίστασης μιας ομάδας δοντιών διαφέρει ανάλογα με τον αριθμό των δοντιών. Οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει για τους άνω τομείς και τους άνω προσθίους. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σοβαρές διαφωνίες για το κέντρο αντίστασης τόσο κατά την υπερώια μετακίνηση όσο και κατά την εμβύθιση οι οποίες πιθανόν να προβληματίζουν τον κλινικό ορθοδοντικό. Επιπλέον οι γνώσεις μας για τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση του κέντρου αντίστασης ομάδων δοντιών είναι πολύ περιορισμένες ίσως επειδή οι παράγοντες αυτοί είναι δύσκολο να μετρηθούν σε ομάδες δοντιών (π.χ. ποιο ύψος της ρίζας θα πρέπει να μετρηθεί ή ποιο ύψος φατνιακού πετάλιου όταν επιχειρείται εμβύθιση των τεσσάρων άνω τομέων). Ίσως τα μαθηματικά μοντέλα μπορέσουν στο μέλλον να προσεγγίσουν περισσότερο αυτούς τους παράγοντες. Ο ορθοδοντικός όμως δεν θεραπεύει κέντρα αντίστασης θεραπεύει ασθενείς. Εάν μία μέθοδος έχει δοκιμαστεί κλινικά με επιτυχία θα πρέπει να τη χρησιμοποιεί.

Διεύθυνση για ανάπτυξη:

Ιωάννης Σ. Παπαγεωργίου
Θεσσαλίας 27
15772 Ζωγράφου

E-mail: papagir@otenet.gr

- Qian H, Chen J, Katona TR. The influence of PDL principal fibers in a 3-dimensional analysis of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:272-9.
- Schneider J, Geiger M, Sander FG. Numerical experiments on long-time orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;21:257-65.
- Shroff B, Lindauer SJ, Burstone CJ, Leiss JB. Segmented approach to simultaneous intrusion and space closure: Biomechanics of the three-piece base arch appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:136-43.
- Stoeckli PW, Teuscher UM. Combined activator headgear orthopedics. In Graber TM, Swain BF, eds. *Orthodontics: Current principles and techniques*. St Louis: CV Mosby, 1985:405-83.
- Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratio and the center of rotation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:426-31.
- Tanne K, Nagataki T, Inoue Y, Sakuda M, Burstone CJ. Patterns of initial tooth displacements associated with various root lengths and alveolar bone heights. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:66-71.
- Toutountzakis N, Mavreas D. Segmented arch technique and incisor intrusion for deep overbite correction. *Orthod Epitheorese* 1989;1:203-15.
- Vanden Bulcke MM, Dermaut LR, Sachdeva RCL, Burstone CJ. The center of resistance during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90:211-20.
- Vanden Bulcke MM, Burstone CJ, Sachdeva RCL, Dermaut LR. Location of the centers of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:375-84.
- Vollmer D, Bourauel C, Maier K, Jager A. Determination of the centre of resistance in an upper human canine and idealized tooth model. *Eur J Orthod* 1999;21:633-48.
- Yoshida N, Jost-Brinkmann PG, Koga Y, Mimaki N, Kobayashi K. Experimental evaluation of initial tooth displacement, center of resistance, and center of rotation under the influence of an orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001a;120:190-7.
- Yoshida N, Koga Y, Mimaki N, Kobayashi K. In vivo determination of the centres of resistance of maxillary anterior teeth subjected to retraction forces. *Eur J Orthod* 2001b;23:529-34.

Reprint requests to:

Ioannis S. Papageorgiou
Thessalias Str. 27
GR - 15772 Zografou
Greece

E-mail: papagir@otenet.gr