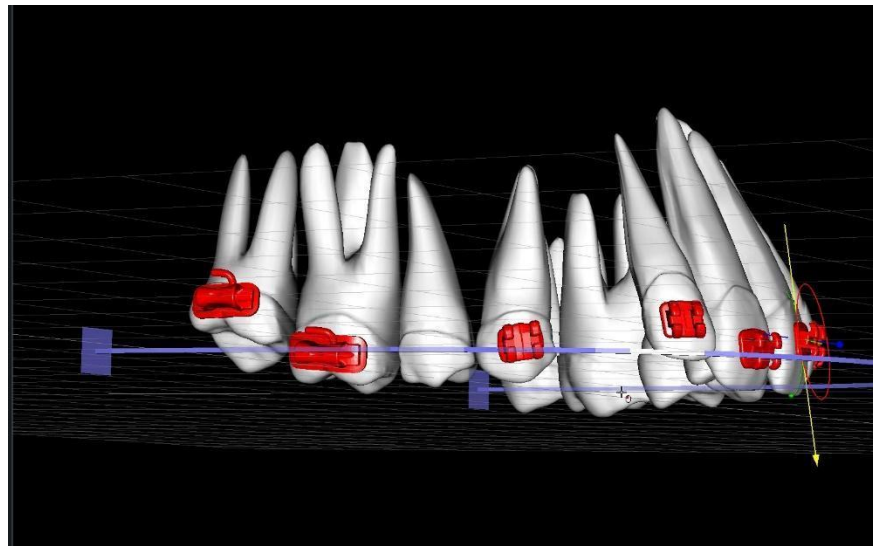


# Fizica în Ortodonție



# Principii fundamentale ale mecanicii aplicate în ortodonție

Dr. Jean-Marc Retrouvey

Dr. Katherine Kousaie

## 1 CUPRINS

---

2	Introducere	2
3	Principii fundamentale ale mecanicii	2
3.1	Cele trei legi ale lui Newton	3
3.1.1	Prima lege	3
3.2	A doua lege	3
3.3	A treia lege	3
4	Conceptul de forță	4
4.1	Forță simplă	4
4.1.1	Definiție	4
4.1.2	Punct de aplicare	5
4.1.3	Direcția și magnitudinea liniei de acțiune	6
4.1.4	Legea transmisibilității unei forțe	7
4.1.5	Punctul de aplicare al forței	7
4.1.6	Centrul de masă	7
5	Centrul de rezistență	9
5.1	Variabilitatea centrului de rezistență în funcție de suportul parodontal	11
5.1.1	Centrul de rezistență pentru un singur dinte	11
5.1.2	Centrul de rezistență al unui grup de dinți	13
5.1.3	Combinarea forțelor. Forța rezultantă sau forța netă	14
6	Centrul de rotație	16
6.1.1	Diagrama corpului liber	16
7	Deplasări dentare	19
7.1	Translație	19
7.2	Rotație (pură)	20
7.3	Versiune	21
7.3.1	Versiune necontrolată	21
7.3.2	Versiune controlată	21

		21
7.3.3	Deplasarea radiculară	22
7.3.4	Intruzie/Extruzie	22
8	Sisteme de forță	24
8.1	Momentul forței	24
8.2	Cuplul de forțe	25
8.3	Raportul moment/forță	26
8.4	Deplasări în funcție de variația forțelor și sistemelor	29
8.5	Sisteme de forță echivalente	34
9	Ancorajul	36
9.1	Aplicații	38
9.1.1	Distalizarea caninului	38
9.1.2	Extruzia dentară	38
10	Lecturi sugerate	39

## 2 INTRODUCERE

---

Ortodonția este construită pe principiile de bază ale fizicii, referitoare la corpurile în mișcare în spațiu. Desigur, mișcările din ortodonție se complică, deoarece aceste corpuri în mișcare se află în cavitatea orală și sunt supuse unor sisteme de forțe mai complexe decât poate prezice mecanica simplă. Biomecanica este o parte importantă a ortodonției și este studiul echilibrului static și a efectelor forțelor asupra sistemelor biologice. Acest text va încerca să simplifice biomecanica ortodonției și să ofere un cadru pentru aplicațiile clinice.

## 3 PRINCIPII DE BAZĂ ALE MECANICII

---

Există câteva concepte de bază ale fizicii care justifică revizuirea lor înainte de a intra în biomecanică în ortodonție și aplicațiile acestora în cazuri clinice.

În ortodonție, folosim cele trei legi ale lui Newton pentru a explica efectele forțelor asupra unui obiect.

### 3.1 Cele 3 legi ale lui Newton

Legile lui Newton descriu mișcarea unui obiect atunci când este supus forțelor. În ortodonție a doua și a treia lege a lui Newton sunt cele mai importante.

#### 3.1.1 Prima lege a lui Newton

***Orice corp își menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă atâta timp cât asupra sa nu acționează alte forțe.*** Prima lege a lui Newton descrie în esență conceptul de inerție sau reacția unui corp (rezistența) la mișcare atunci când se acționează cu o forță. (Fig 1).

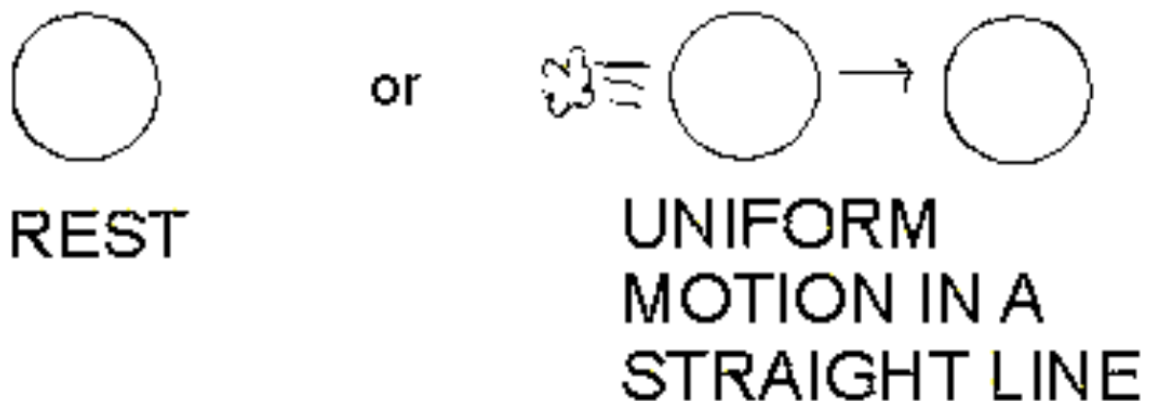


Figura 1: Prima lege a lui Newton

### 3.2 A doua lege a lui Newton

O forță care acționează asupra unui corp îi imprimă acestuia o accelerație, proporțională cu forța și invers proporțională cu masa corpului.

$$F_{\text{net}} = m \cdot a \text{ (Forța = masa} \times \text{ accelerația)}$$

### 3.3 A treia lege a lui Newton

A treia lege a lui Newton susține că pentru fiecare acțiune sau forță există o forță de reacțiune egală (în direcție opusă). Conform acestei legi, ori de câte ori două obiecte interacționează, acestea exercită forțe de acțiune și reacțiune unul asupra celuilalt. Astfel, cu orice interacțiune există o pereche de forțe. Forțele din această pereche (acțiunea și reacțiunea) sunt vectori, în sensul în care au o dimensiune și o direcție. Mărimea forței asupra primului obiect este egală cu mărimea forței asupra celui de-al doilea obiect, iar direcția forței asupra primului obiect este într-o direcție opusă direcției forței asupra celui de-al doilea obiect.

Luați în considerare interacțiunea dintre roțile unui automobil și drum. Pe măsură ce roțile se întorc, ele exercită o forță asupra drumului. La rândul său, drumul exercită o forță asupra roților care este egală în magnitudine și opusă direcției forței pe care drumul o primește de la roțile automobilului. Într-un fel, roțile împing drumul înapoi, iar acesta împinge roțile înainte (egal și opus), permițând automobilului să se deplaseze înainte.

În cavitatea bucală, putem observa exemple de acțiune-reacțiune atunci când dorim să obținem retracția caninului. Resortul trage caninul posterior cu o anumită magnitudine a forței. Din moment ce aparatul ortodontic folosește molarii pentru ancoraj, o forță de aceeași magnitudine, dar în direcție opusă, trage molarii anterior (Fig 2). Acesta poate fi un efect secundar nedorit. Atunci când realizăm planul de tratament, aceste efecte secundare

nedorite trebuie luate în calcul și eliminate sau cel puțin reduse la minim.

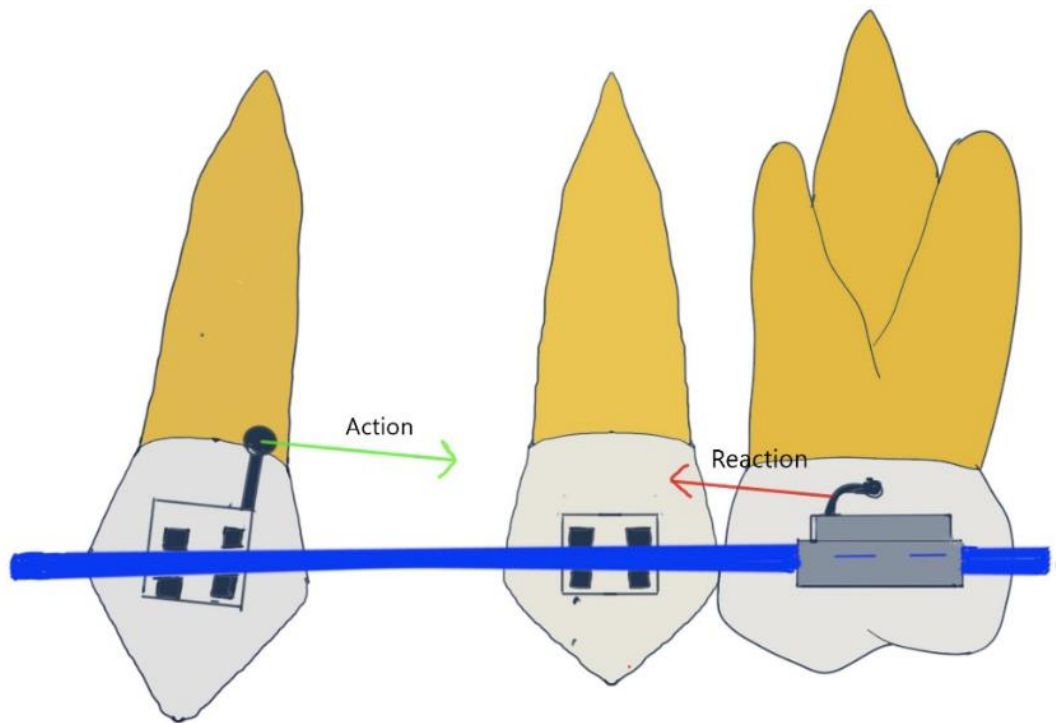


Figura 2: Forțele de acțiune și reacțiune plasează sistemul în echilibru. Acesta este un desen simplificat.

## 4 CONCEPTUL DE FORȚĂ

---

### 4.1 Forța simplă

#### 4.1.1 Definiție

O forță este orice acțiune care are ca rezultat schimbarea deplasării unui obiect. Forța se măsoară în grame, uncii (ounces) sau Newtoni (circa 100 gr per 1 Newton pe planeta Pământ, deoarece accelerația datorită gravitației este considerată constantă și egală cu  $9.807/s^2$ ). În ortodonție, de obicei forța se măsoară în grame (2).

#### Dirrecția și magnitudinea fortei

Deoarece forța este un vector, direcția forței este reprezentată de o săgeată îndreptată în aceeași direcție ca mișcarea dintelui. Prin convenție magnitudinea este reprezentată de lungimea săgeții (Fig. 3).



Figura 3: Forță simplă cu direcție și magnitudine

#### 4.1.2 Punct de aplicare

Punctul de aplicare al forței este locul unde se aplică forța pe obiect și este reprezentat prin convenție de originea săgeții. Locul de aplicare al forței este legat de centrul de masă, deoarece acest loc precis va determina tendința obiectului de rotire sau translație atunci când este supus acestei forțe.

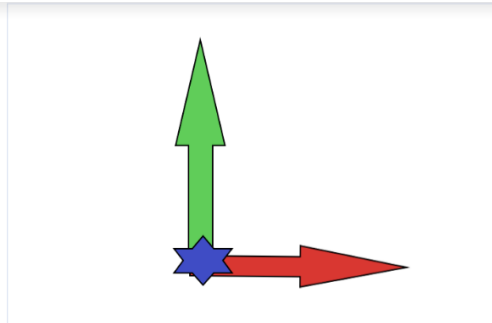


Figura 4: Punctul de aplicare al forței

În Figura 4, forțele verzi și roșii sunt în direcții diferite, dar au același punct de aplicare.

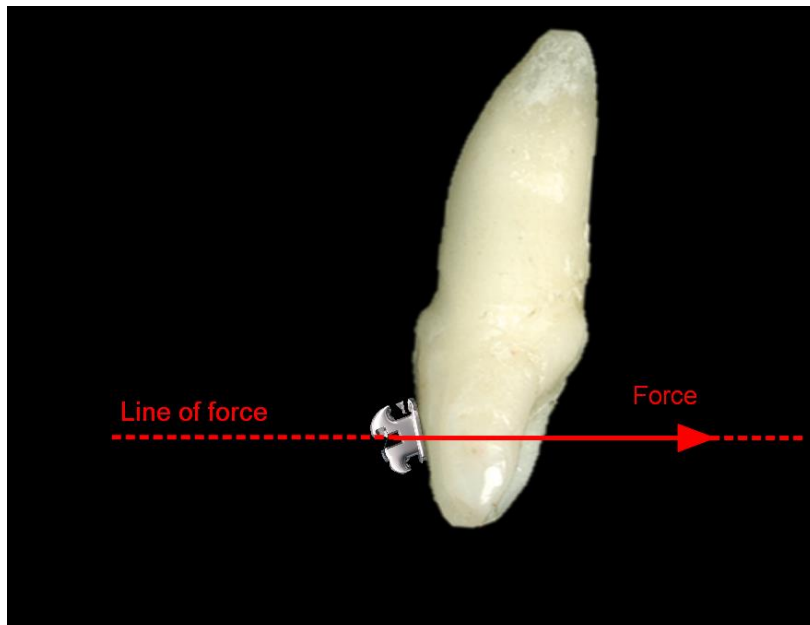


Figura 5: O forță simplă aplicată pe coroana unui incisiv central. Linia de acțiune ilustrează direcția vectorului forței.

#### 4.1.3 Direcția și magnitudinea liniei de acțiune

Linia de acțiune este reprezentarea geometrică a direcției de aplicare a forței (Wikipedia). Linia de acțiune este axa de deplasare atunci când o forță este aplicată. Direcția forței este reprezentată de direcția săgeții. Magnitudinea este reprezentată de lungimea săgeții.

Două forțe de amplitudine egală care acționează în aceeași direcție și care sunt plasate pe aceeași linie de acțiune vor avea același efect asupra unui corp rigid. În Figura 6,  $F_1$  și  $F_2$  vor avea același efect asupra corpului albastru. Nu contează dacă o forță împinge și cealaltă trage. Efectul net va fi identic.

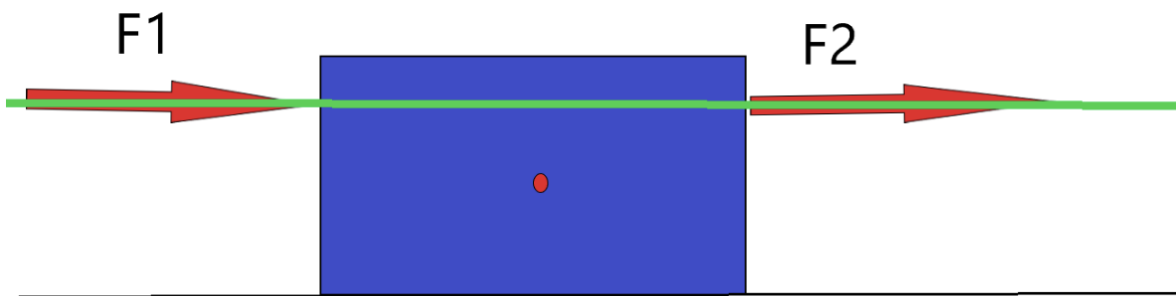


Figura 6: Linia de acțiune a forțelor

#### 4.1.4 Legea transmisibilității forței

Efectul unei forțe asupra unui corp este același atunci când este aplicat oriunde de-a lungul liniei sale de acțiune. De exemplu, dacă linia de acțiune este axa lungă a dintelui, nu contează dacă forța este aplicată la nivelul marginii incizale, bracketului sau la nivelul cingulumului, atâta timp cât forța este în aceeași direcție și are aceeași magnitudine, efectul rămâne același (Fig. 7).



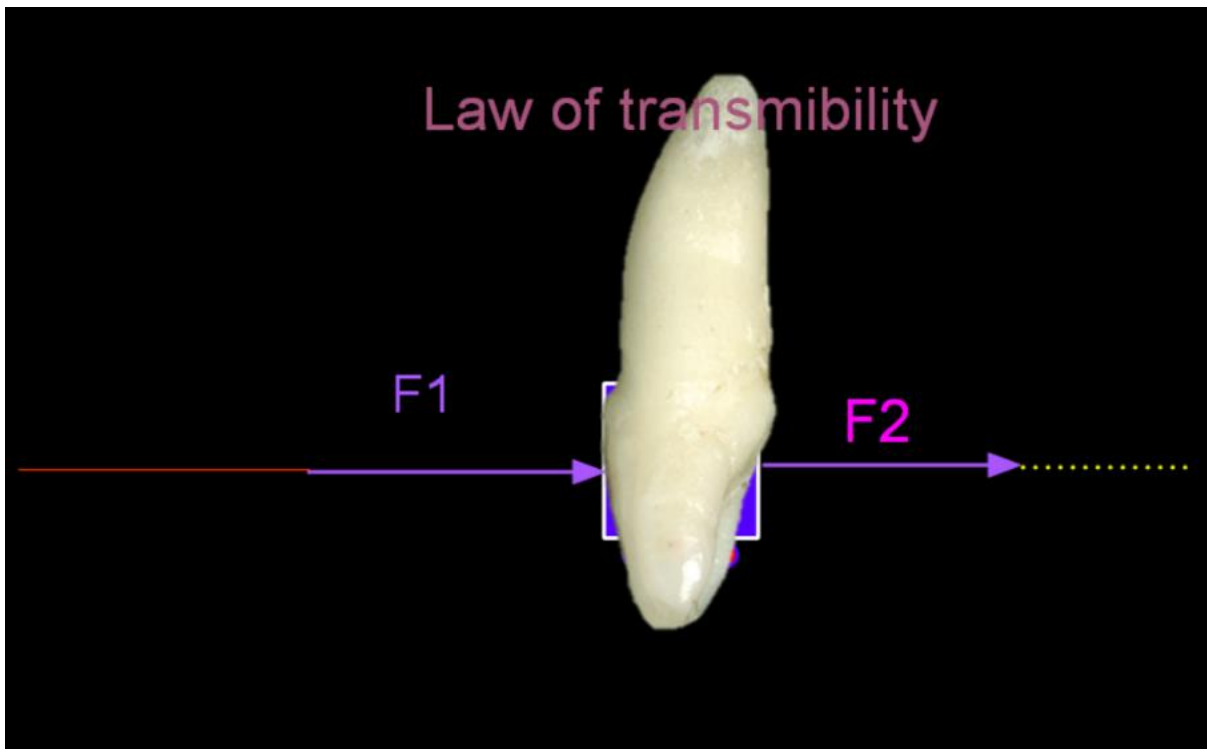


Figura 7: Legea transmisibilității forței:  $F_1$  și  $F_2$  vor avea același efect

#### 4.1.5 Punctul de aplicare al forței

Legea transmisibilității susține că forțele de aceeași magnitudine și direcție au același efect indiferent unde se află punctul de aplicare de-a lungul aceleiași linii de forță.

**Valoarea scalară** este folosită pentru a descrie forțele; scalarii au o magnitudine, dar nu au direcție. Vectorii au magnitudine și direcție (vectorii sunt utilizați în diagrama corpului liber).

**Corpuri rigide:** Acestea nu își schimbă forma sub influența forțelor (cum ar fi forțele de compresiune și de tracțiune). Dinții sunt corpuri rigide; însă nu se poate spune aceeași lucru și despre țesuturile moi!

#### 4.1.6 Centrul de masă

Centrul de masă reprezintă punctul de echilibru al unui sistem. În cazul obiectelor simple, cum ar fi cazul unui dinte, centrul de masă este un punct în care poziția masei distribuite este egală cu zero. Dacă nicio forță nu acționează asupra masei unui corp, ar fi ca și cum toată masa sa ar fi concentrată în acel punct unic (centrul de masă) (Fig. 8).

## Centrul de masă: punctul de echilibru al unui sistem

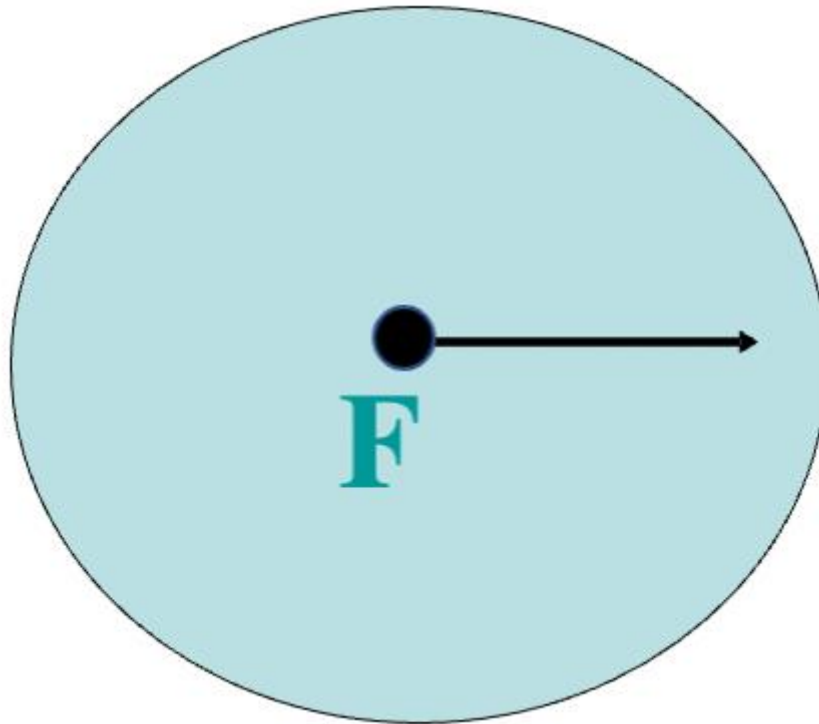


Figura 8: Centrul de masă

Dacă o forță trece prin centrul de masă, obiectul se va deplasa în direcția forței fără nicio rotație (translație pură).

Aceasta ar fi similar în cazul unei cutii sau oricărui alt obiect, aflat pe Lună (sau într-un mediu în care nu există forțe care acționează asupra dintelui) (Fig. 9). Aceasta, evident nu este o situație realistă, ci mai mult un concept teoretic!

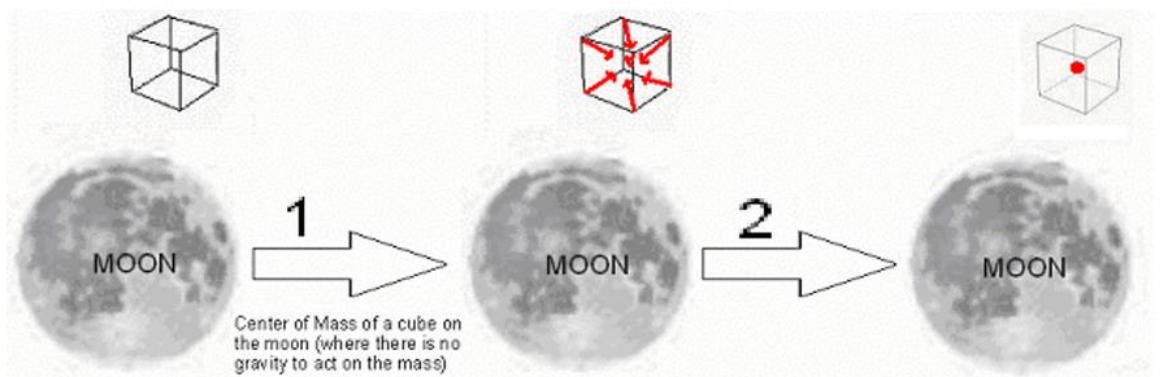


Figura 9: Centrul de masă pe Lună

Dacă linia de acțiune a unui corp liber este plasată departe de centrul de rezistență, va rezulta o combinație de rotație și translație (Fig. 10).

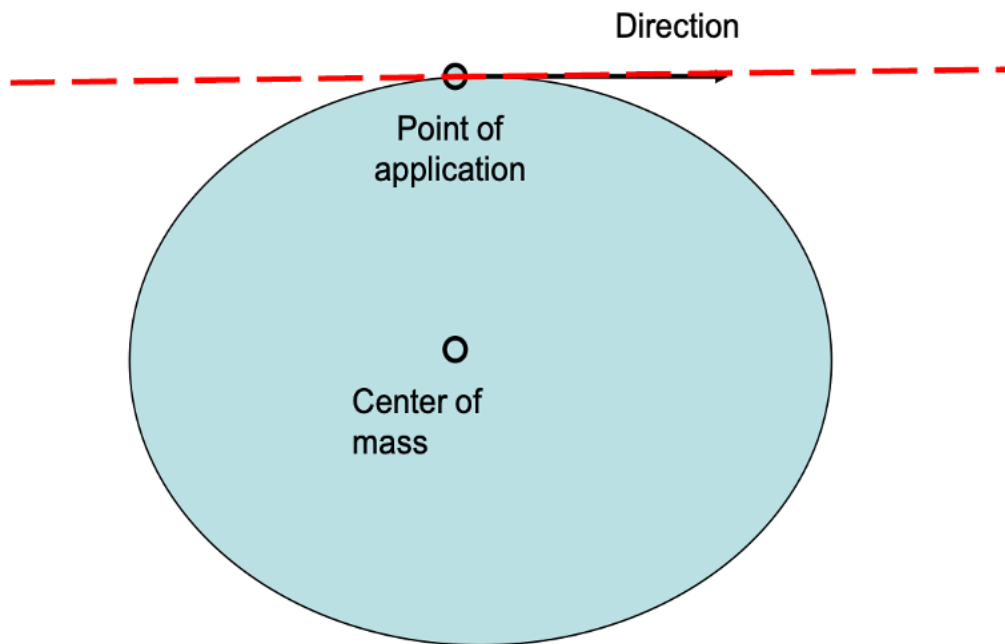


Figura 10: Linia de acțiune al unei forțe plasată la o distanță de centrul de masă

## 5 CENTRUL DE REZISTENȚĂ (CR):

---

Centrul de rezistență este un concept important în ortodonție, deoarece dinții nu sunt corpuri libere, rădăcinile lor sunt fixate la nivelul osului alveolar prin ligamentul parodontal. Centrul de masă și centrul de rezistență nu sunt situate în aceeași poziție. CR este situat mai apical decât centrul de masă. Acesta este un punct matematic în care se consideră a fi concentrată rezistența la deplasare. Calculele sistemelor de forță în raport cu capacitatea lor de translație sau rotație se fac în raport cu centrul de rezistență.

Centrul de rezistență variază pentru fiecare dinte și în funcție de suportul parodontal prezent și se află aproximativ la jumătatea distanței de la nivelul rădăcinii (Fig 11).

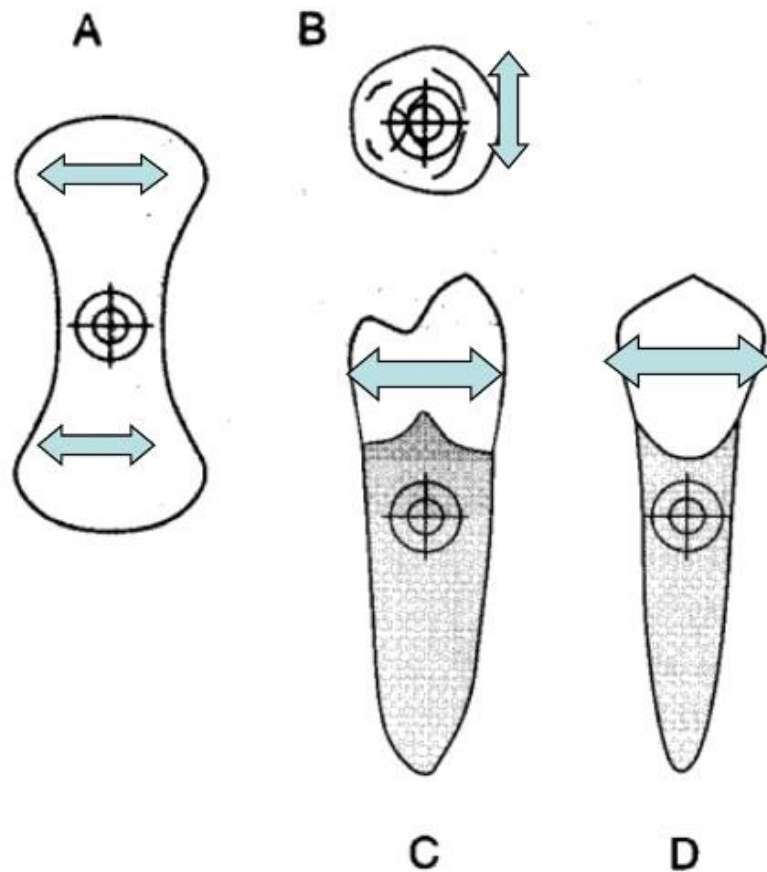


Figura 11: Localizarea centrului de rezistență din mai multe puncte de vedere:  
 A: Radicular, B: Ocluzal, C: Vestibulo-Oral, D: Mezio-Distal

Centrul de rezistență are în vedere toate forțele care acționează asupra unui corp. În cazul unui dinte, acesta include forțe din ligamentul parodontal (PDL), vasele de sânge, osul alveolar și țesutul conjunctiv (Fig. 12). Centrul de rezistență poate fi luat în considerare pentru un singur dinte sau pentru un grup de dinți, dacă au fost ancorați împreună (aceștia acționează împreună ca o singură masă mai mare).

Importanța centrului de rezistență: Atunci când forțele sunt aplicate pe dinți, este imperativ necesar să se evalueze efectele lor tridimensionale și mișcările rezultate care vor avea loc odată ce dintele este supus acestui sistem de forță.

## 5.1 Variabilitatea centrului de rezistență în funcție de suportul parodontal

Când un pacient prezintă un suport parodontal redus, creasta osului alveolar se află mai apical. Centrul de rezistență al dintelui s-a deplasat dramatic mai apical, iar distanța de la bracket până la centrul de rezistență crește aproape de două ori (Fig. 12). Dacă aceeași forță este aplicată la nivelul bracketului pe acești doi dinți, va rezulta o mișcare ortodontică diferită. Dintele din dreapta va tinde să se rotească mai mult în funcție de distanța crescută a liniei de forță față de centrul de rezistență al dintelui.

### Suportul osos alveolar

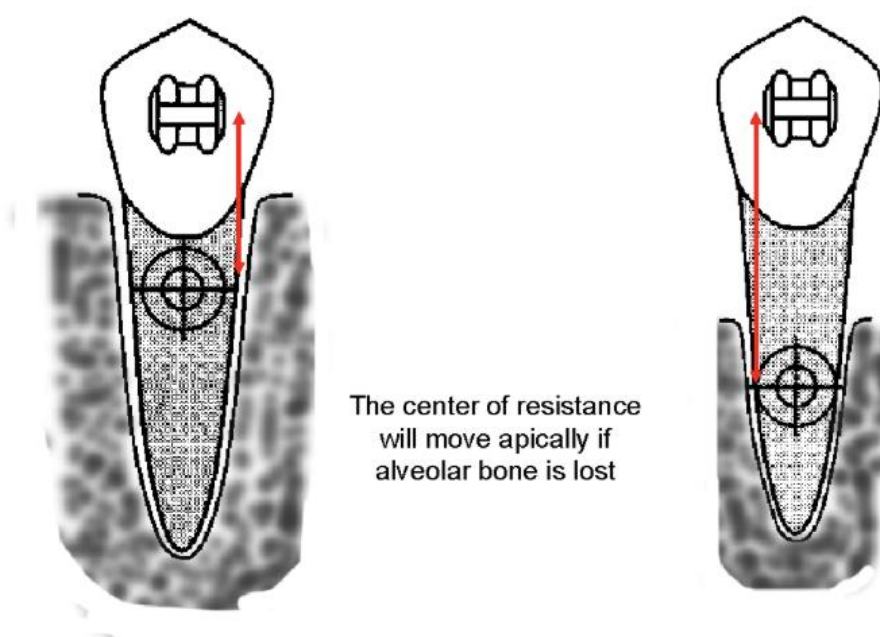


Figura 12: Centrul de rezistență se deplasează apical atunci când apare pierderea osoasă orizontală.

### 5.1.1 Centrul de rezistență pentru un singur dinte

Centrul de masă este întotdeauna plasat mai spre ocluzal decât centrul de rezistență, datorită „rezistenței” ligamentului parodontal și a osului dento-alveolar. Deoarece această rezistență este imposibil de cuantificat pentru fiecare dinte și pentru fiecare pacient, centrul de rezistență este un concept teoretic, dar poate fi folosit ca o medie, pentru a crea sisteme de forță optimizate (Fig. 13).

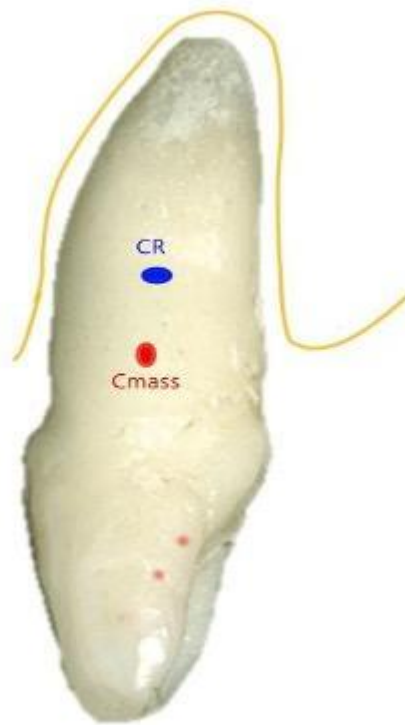


Figura 13: Centrul de rezistență (CR) vs Centrul de masă (Cmass) al unui dinte monoradicular

În cazurile în care suportul parodontal este constant, centrul de rezistență al dinților va fi la niveluri diferite. Caninii superiori vor avea CR într-o poziție mai înaltă, în timp ce la nivelul premolarilor și incisivilor laterali acesta va fi localizat mai ocluzal (Fig. 14).

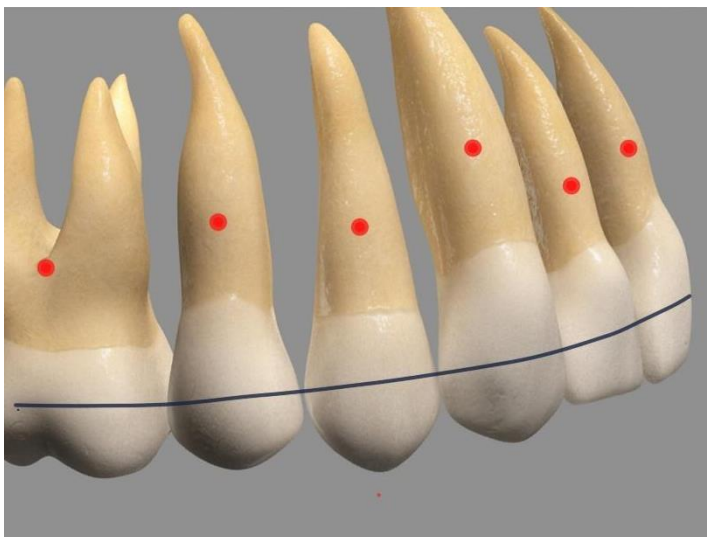


Figura 14: Diferite poziții ale centrului de rezistență (dacă considerăm suportul parodontal egal și normal)

Prin urmare, este evident că centrul de rezistență este diferit între dinții cu lungime și anatomie diferită a rădăcinii, de exemplu între incisivi și molari, sau premolari și canini. Poziția sa variază de asemenea în funcție de înălțimea osului alveolar, astfel încât diferă la un copil față de un adult cu boală parodontală (centrul de rezistență se mișcă mai apical la adulții cu pierderea osoasă).

O altă modalitate de a te gândi la centrul de rezistență este ca un punct de la nivelul unui corp în care o singură forță are ca rezultat o translație pură (Fig. 15).

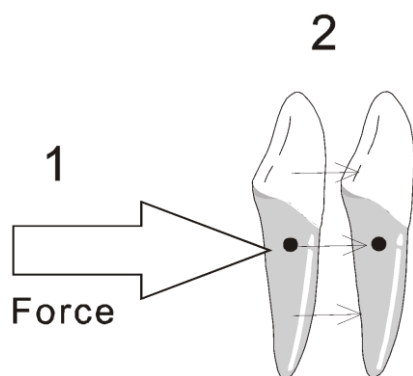


Figura 15: Forțele care acționează în centrul de rezistență duc la o translație pură

### 5.1.2 Centrul de rezistență pentru un grup de dinți

Când dinții sunt solidarizați cu bracketuri și arcuri se creează un nou centru de rezistență, iar grupul de dinți este acum considerat ca un singur obiect.

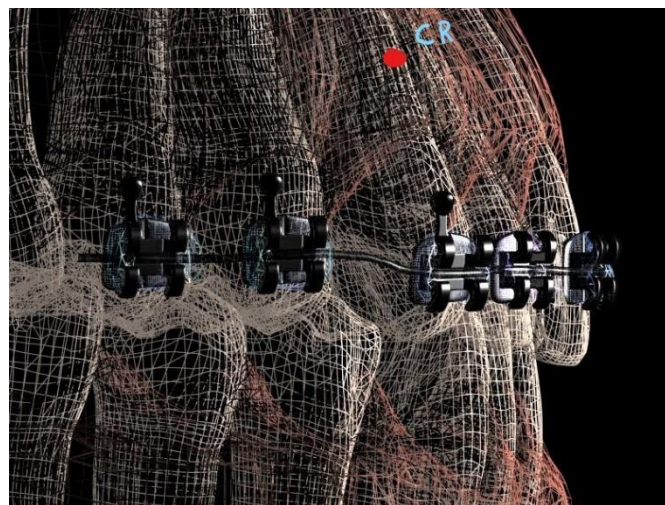


Figura 16: Centrul de rezistență pentru un grup de dinți

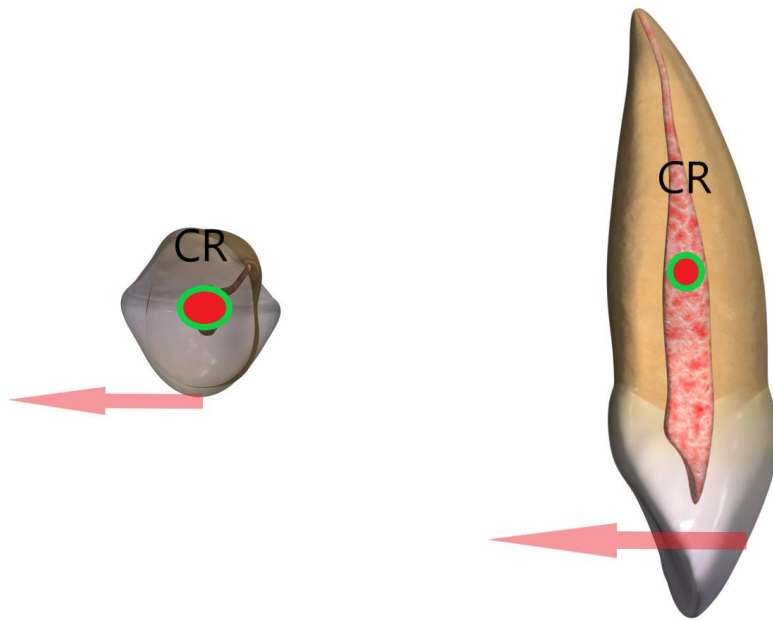


Figura 17: Când se aplică o forță pe bracket, linia de forță este întotdeauna la distanță de centrul de rezistență

### 5.1.3. Combinarea forțelor. Forța rezultantă sau forța netă

În ortodonție, combinarea forțelor în cele trei planuri ale spațiului este frecvent utilizată și este util să se calculeze forța netă (sau forța rezultantă). Regula paralelogramului este utilizată pentru a calcula suma vectorilor.

Este important să ne amintim că forța ( $F_{net}$ ) este forța netă, care este suma vectorială a tuturor forțelor ( $F_1$  și  $F_2$ ). Regula paralelogramului ne permite să găsim forța netă: Forțele  $F_1$  și  $F_2$  sunt vectori și au magnitudine și direcție. Când  $F_1$  și  $F_2$  sunt la un unghi unul față de celălalt, se creează un paralelogram trasând  $F_1$  și  $F_2$  laturile adiacente. Diagonala care trece prin paralelogram este forța rezultantă ( $F_{net}$ ) (Fig. 18).

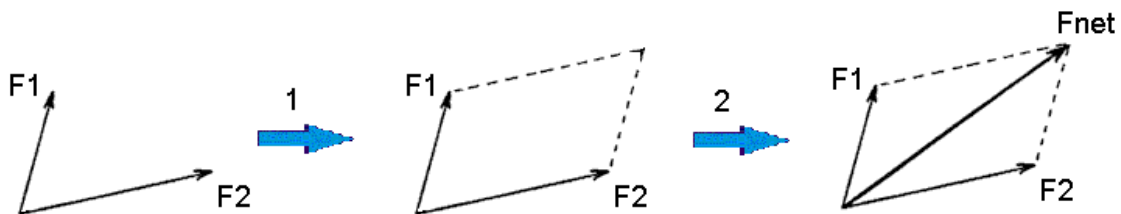


Figura 18. Regula paralelogramului



Pentru calculul sumei a 2 vectori vă rugăm să consultați această adresă URL pentru explicații detaliate: <https://www.mathstopia.net/vectors/parallelogram-law-vector-addition>.

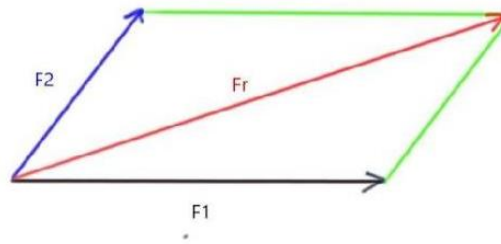


Figura 19: Calculul sumei a doi vectori.

Pentru a calcula magnitudinea forței rezultate  $F_r$ , folosim formula  $F_r = F_1 + F_2$ .

Trebuie să extindem linia de acțiune a  $F_1$  pentru a crea un triunghi dreptunghic  $OXR$  și pentru a adăuga unghiurile  $\alpha$  și  $\beta$  (Fig. 20).

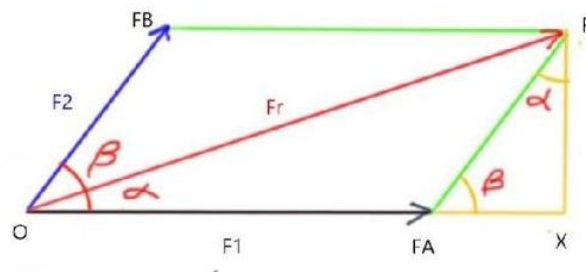


Figura 20: Extensia paralelogramului

Calculul amplitudinii lui  $F_r$ :

$$F_r^2 = OX^2 + RX^2$$

$$OX = OF_A + F_A X \text{ or}$$

$$F_r^2 = (OF_A + F_A X)^2 + R_x^2$$

Odată complet extins, obținem

Știm că  $\cos \beta = \frac{\text{partea adiacentă unghiului } \beta}{\text{ipotenuzei}}$

$$F_A X / F_2 \text{ sau } F_A X = F_2 \cos \beta \text{ și } \sin \beta = R_x / F_2 \text{ or } R_x = F_2 \sin \beta$$

$$F_r^2 = F_2 \sin \beta +$$

După substituirea valorilor:  $F_r = \sqrt{F_1^2 + 2F_1F_2\cos\beta + F_2^2}$

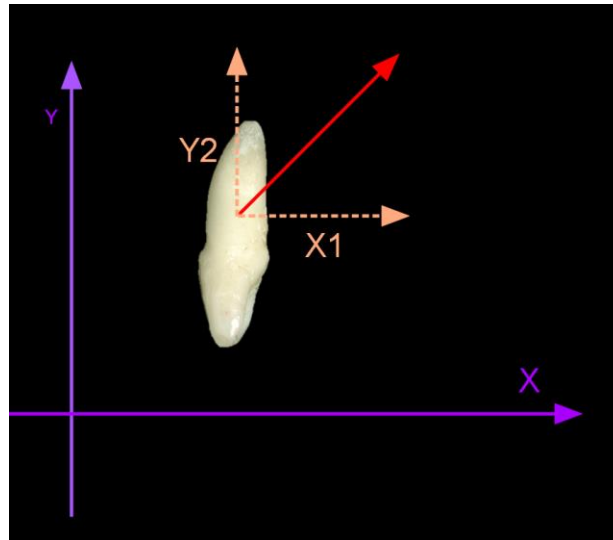


Figura 21: Forța rezultantă (netă) atunci când forțele sunt la 90 de grade

În cazul în care plasăm forțele la 90 de grade, ecuația este simplificată și devine

$$F_r = \sqrt{X_1^2 + F_2^2}$$

## 6 CENTRUL DE ROTAȚIE

---

Centrul de rotație este punctul în jurul căruia se rotește obiectul. Acesta variază în funcție de locația centrului de rezistență și de forța aplicată obiectului. Rotația pură are loc atunci când centrul de rotație coincide cu centrul de rezistență. Translația pură are loc atunci când centrul de rotație este la o distanță infinită de centrul de rezistență.

Pentru a localiza centrul de rotație în jurul căruia are loc o mișcare de rotație a dintelui, alegeți oricare două puncte de pe dinte (sau obiect) și trageți o linie între pozițiile inițiale și finale ale fiecărui punct. Punctul de intersecție între liniile perpendiculare este centrul de rotație (Fig. 22).

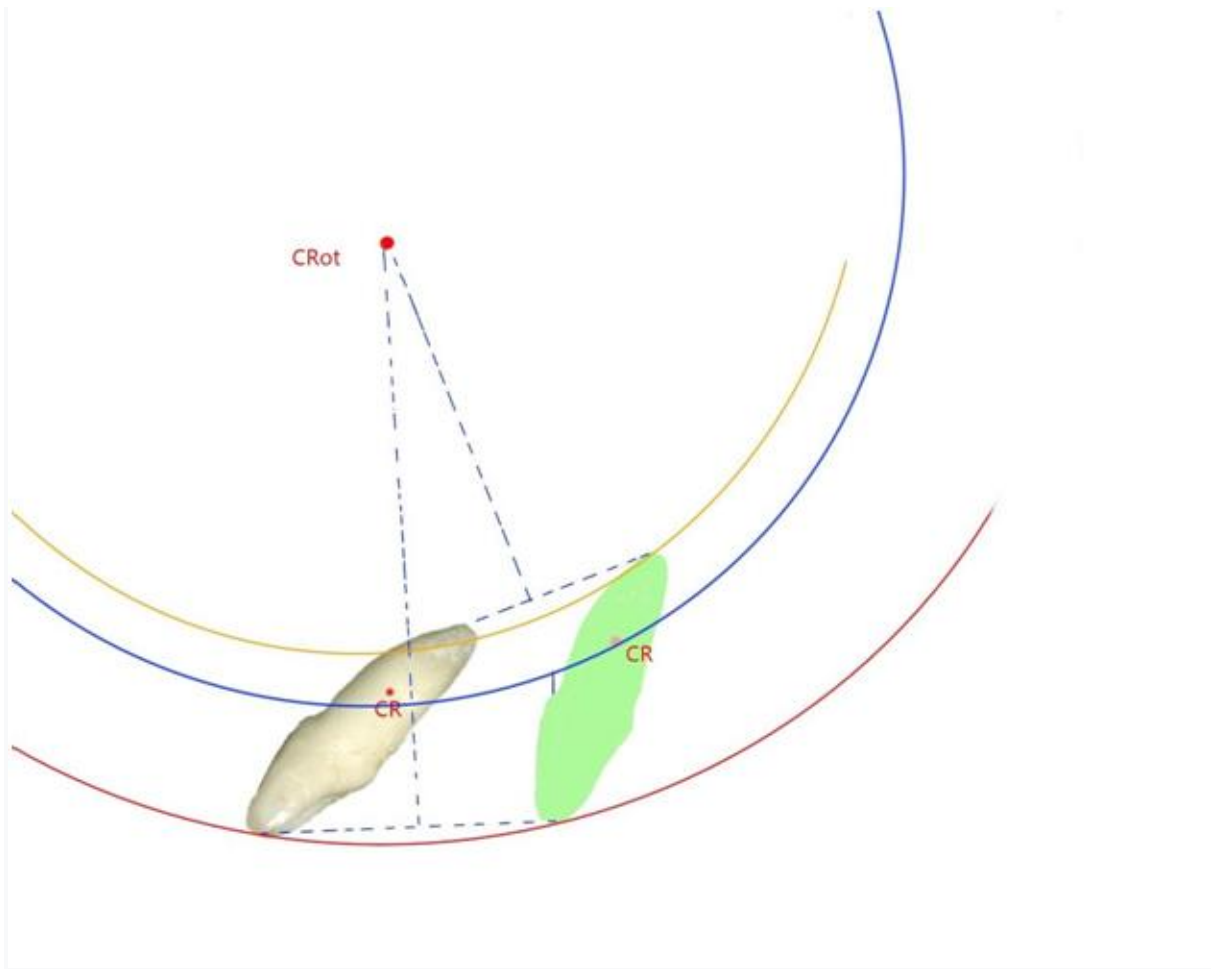


Figura 22: Metode de localizare ale centrului de rotație

### 6.1.1 Diagrama corpului liber

Diagrama corpului liber ajută la prezicerea efectului diferitelor forțe care acționează asupra unui corp în același timp (forța netă) sau la descompunerea unei forțe în părțile sale componente.

Un exemplu de diagramă a corpului liber, cu  $F_1$ ,  $F_2$  și  $F_{net}$  (reamintim regula paralelogramului) (Fig 23).

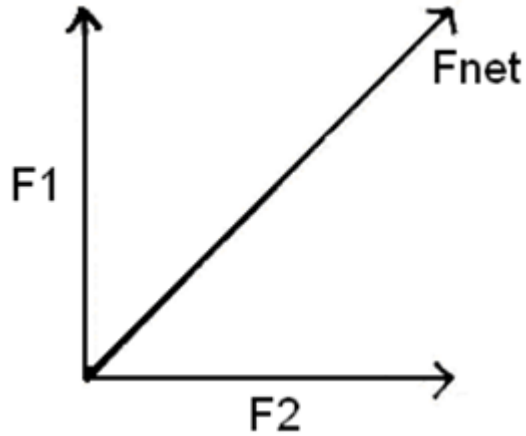


Figura 23. Diagrama corpului liber

Un exemplu clinic de utilizare a unei diagrame a corpului liber este un arc de intruzie și elastice. Se aplică o forță  $F$  care are părți componente intruzive și retruzive. Dacă cunoaștem magnitudinea forței aplicate și angulația acesteia, putem afla magnitudinea forțelor intruzive și retruzive folosind trigonometria simplă (Fig. 24-25).

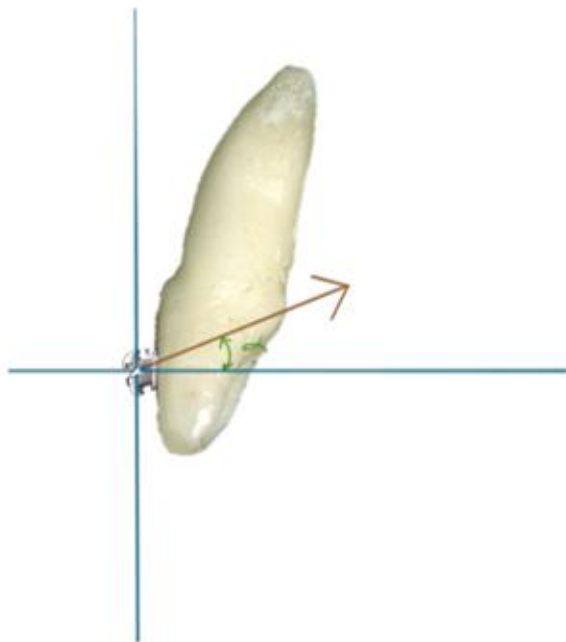


Figura 24: Forță simplă pentru a intra și traciona un incisiv superior

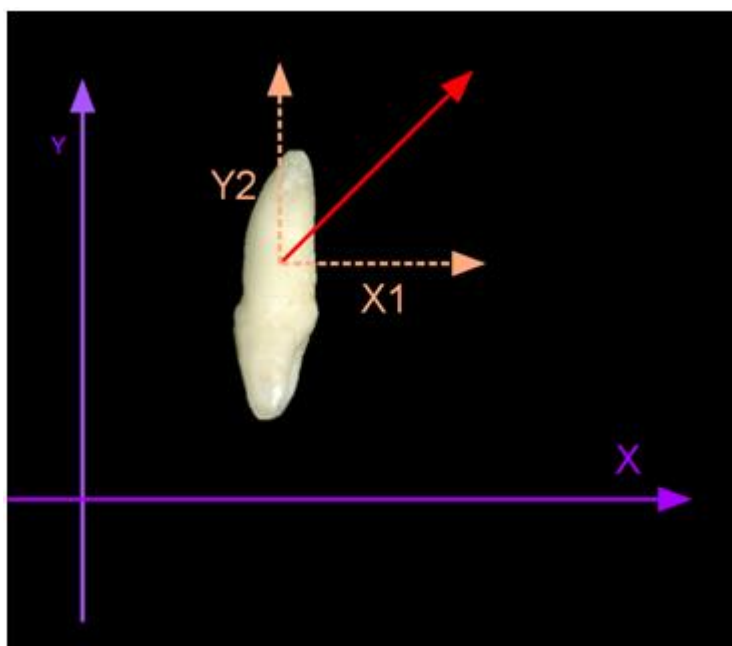
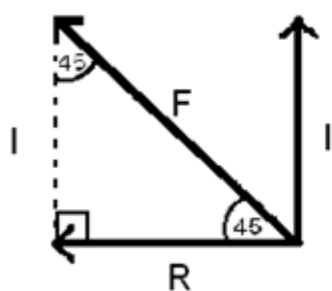


Figura 25: Diagrama corpului liber și forțele aplicate de un headgear

Dacă știm că  $F_{net} = 500g$ , putem rezolva pentru I (forța intruzivă) și R (forța retruzivă) folosind regula triunghiului dreptunghic (Fig. 26).



$$\sin 45 = \frac{I}{F}$$

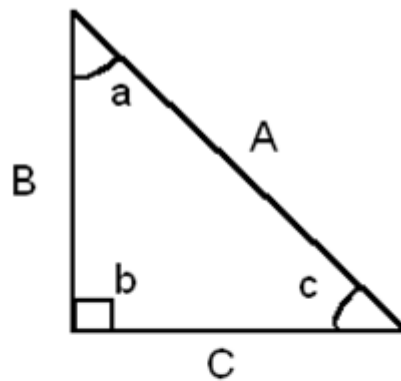
$$\begin{aligned} I &= F \sin 45 \\ &= 500 \sin 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\cos 45 = \frac{R}{F}$$

$$\begin{aligned} R &= F \cos 45 \\ &= 500 \cos 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

Figura 26: Găsirea forțelor intruzive și retrusive rezultate folosind regula triunghiului dreptunghic

Astfel, o forță de 500g în direcția  $F_{net}$  este aceeași cu o forță de 353g în direcția lui I și 353g în direcția lui R plasată pe un obiect în același timp.



$$\sin a = \frac{\text{opposite}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{B}{A}$$

$$\cos a = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{C}{A}$$

$$\tan a = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{B}{C}$$

Figura 27: Calcule trigonometrice

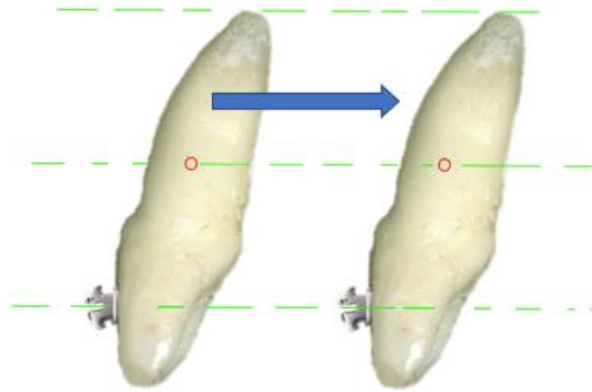
## 7 DEPLASĂRI DENTARE

---

Dinții se deplasează în cele trei dimensiuni ale spațiului. Este important să fiți conștienți de diferitele tipuri de mișcări posibile atunci când planificați un tratament pentru a ține cont de mișcările dorite și nedorite ale dinților.

### 7.1 Translația

În timpul translației, toate punctele corpului se mișcă în aceeași direcție și cu aceeași magnitudine (Fig. 28). Centrul de rotație este efectiv la o distanță infinită de dinte, deoarece nu există rotație.



*Figura 28: Translația unui incisiv central*

## 7.2. Rotația (pură)

Rotația pură are loc atunci când un corp se rotește în jurul centrului de rezistență (CRes) (adică atunci când centrul de rotație este la nivelul centrului de rezistență (Fig. 29).

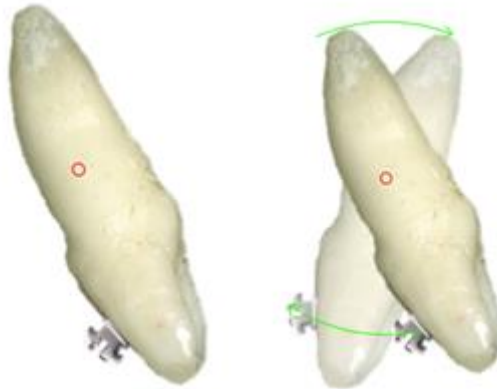


Fig 29: Rotația pură

## 7.3 Versiunea

În cazul versiunii, rezultatul depinde de locul în care se aplică forța.

### 7.3.1 Versiunea necontrolată

Când o forță este plasată pe coroană, coroana se mișcă într-o direcție, în timp ce rădăcina se mișcă în cealaltă. În acest caz, centrul de rotație este aproape sau apical față de centrul de rezistență, astfel încât dintele se rotește în jurul CR (Fig. 30).

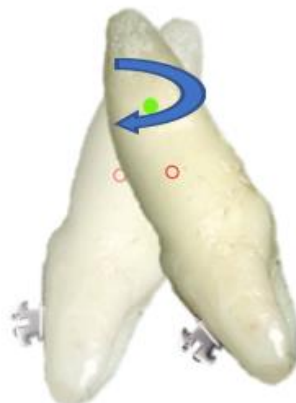


Figura 30: Versiunea necontrolată

### 7.3.2. Versiunea controlată



Centrul de rotație este localizat la apexul dintelui. Aceasta implică un moment și o forță, iar dintele se versează în jurul centrului de rotație (Fig. 31).

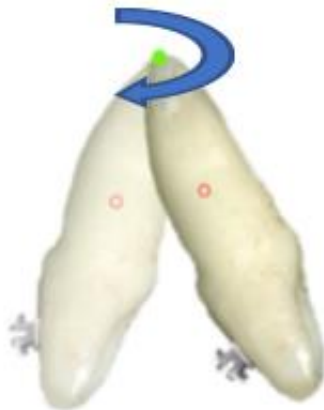


Figura 31: Versiunea controlată

A) De exemplu, pentru corectarea unei malocluzii de clasa a II-a diviziunea I cu protruzie anterioară maxilară, utilizarea versiunii necontrolate ar putea duce la perforarea corticalei osoase vestibulare, în timp ce versiunea controlată va duce doar la mișcarea coroanei, astfel încât rădăcina nu va perfora corticala osoasă vestibulară.

### 7.3.3. Deplasarea radiculară

Mișcarea rădăcinii are loc atunci când centrul de rotație se află la sau lângă marginea incizală, iar rotația are loc în jurul acestui punct (Fig. 32). Prin urmare, coroana este

deplasată mai puțin decât rădăcina. Mișcările rădăcinilor necesită mai mult timp din cauza resorbției osoase necesare pentru a avea loc mișcarea.

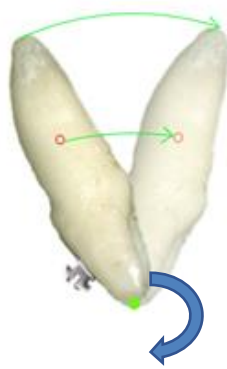


Figura 32: Deplasarea Radiculară

#### 7.3.4. Intruzie/Extruzie

Intruzia și extruzia implică mișcare de-a lungul axei lungi a dintelui (Fig 33, Fig 34).

Reamintim de la translație (Fig. 28), centrul de rotație este la infinit în acest tip de mișcare (deoarece nu există rotație). Cu alte cuvinte, dintele se rotește în jurul unui punct care se află la o distanță infinită, astfel încât nu vedem nicio rotație, doar o mișcare de translație sau intruzie/ extruzie.

Intruzia: în Fig. 33A (în exemplul următor, nu sunt luate în considerare efectele nedorite ale intruziei: în timp ce un dinte este intrudat, dinții adiacenți sunt extrudați, cu excepția cazului

în care sunt ancorajați. Consultați discuția despre ancoraj). Intruzia relativă este rezultatul versiunii și intruziei (Fig. 33B)

Extruzia: (în exemplul următor (Fig. 34), efectele nedorite ale extruziei nu sunt luate în considerare: în timp ce un dinte este extrudat, dinții adiacenți sunt ușor intrudați, cu excepția cazului în care sunt ancorajați. Consultați discuția despre ancoraj).

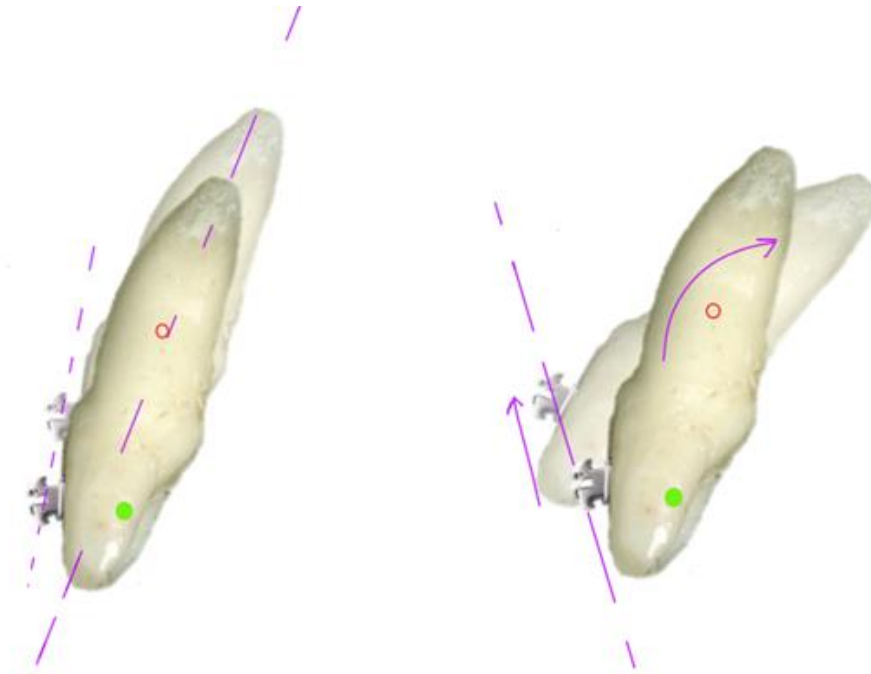
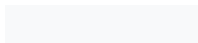


Figura 33: A. Intruzia un incisiv extrudat

B. Intruzie relativă



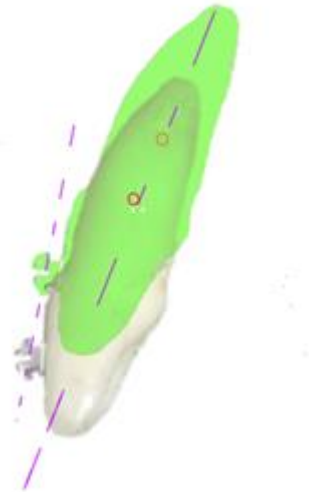


Figura 34: Extruzia unui incisiv intrudat

## 8 SISTEME DE FORȚĂ

---

Pentru a înțelege cum să realizăm mișcări dorite, intenționate ale dinților, ar trebui luate în considerare sistemele de forță. Sistemele de forță sunt alcătuite dintr-un moment și o forță, al căror raport determină tipul de mișcare produs. Această secțiune va acoperi subiecte

precum momentul, cuplul de forțe, raportul moment-forță și mișcările produse atunci când forțele și sistemele sunt variate.

### 8.1. Momentul forței

Momentul este tendința forței de a provoca rotație asupra unui corp. Pentru a calcula momentul unei forțe, înmulțiți magnitudinea forței cu distanța perpendiculară față de centrul de rezistență în jurul căruia are loc momentul (Fig. 35).

$$M = F \times d$$

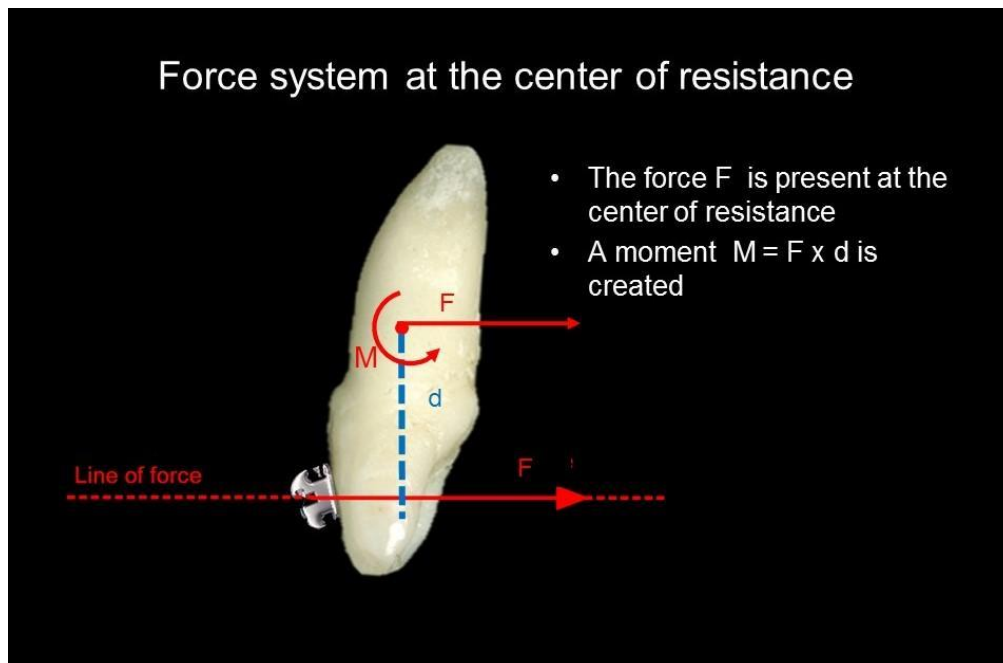


Figura 35: Momentul produs de o forță aplicată la distanță față de centrul de rezistență al dintelui

### 8.2 Cuplul de forțe

Un cuplu este un moment pur și apare atunci când două forțe ( $F_1$ ,  $F_2$  egale și opuse) sunt separate de o distanță perpendiculară. Pentru a calcula momentul cuplului de forțe, luați în considerare forțele separat.

Exemplu:  $F_1$  și  $F_2$  nu produc efecte translaționale, deoarece au direcții egale și opuse și, prin urmare, se anulează reciproc. Momentele forțelor nu se anulează reciproc, deoarece produc rotație în aceeași direcție (imaginați-vă rotația în jurul centrului de rezistență atunci când forțele sunt aplicate din  $F_1$  și  $F_2$ ). Pentru a găsi momentul total în sistem, însumați momentele; acesta este un cuplu de forță.

Cuplul de forță nu ține seama de locul în care forțele sunt aplicate pe corp (sau dinte). Luați în considerare următorul exemplu al cuplului de forță (Fig. 36).

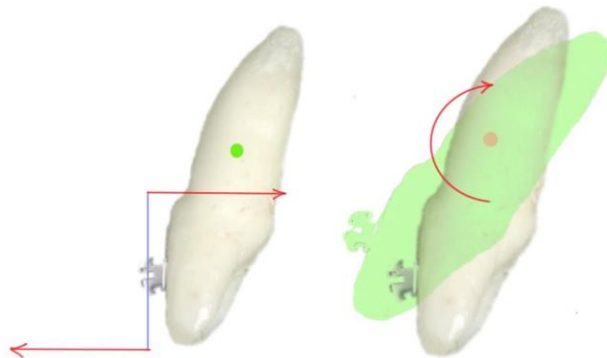


Figura 36: Cuplul de forte: exemplul 1

Deoarece cuplul de forțe se produce indiferent de locul în care forțele acționează asupra corpului, același rezultat ca exemplul de mai sus poate fi obținut prin plasarea forțelor  $F_1$  și  $F_2$  într-o locație nouă (noile locații din exemplul următor sunt mai adecvate din punct de vedere biologic și clinic). **În concluzie, indiferent de locul în care un cuplu de forțe**

acționează asupra unui dinte, momentul total în acel sistem va fi egal cu produsul dintre o forță și distanța dintre forțe.

### 8.3. Raportul moment-forță

Raportul moment/forță combină mișcările de translație și de rotație. Raportul este determinat de amplitudinea forței înmulțită cu distanța perpendiculară față de centrul de rezistență al unui dinte sau al unui grup de dinți (Fig. 37).

Următoarele exemple demonstrează versiunea controlată (controlled tipping) a unui dinte folosind mișcări combinate de translație și rotație (forță și moment simple) (Fig 38, Fig 39).

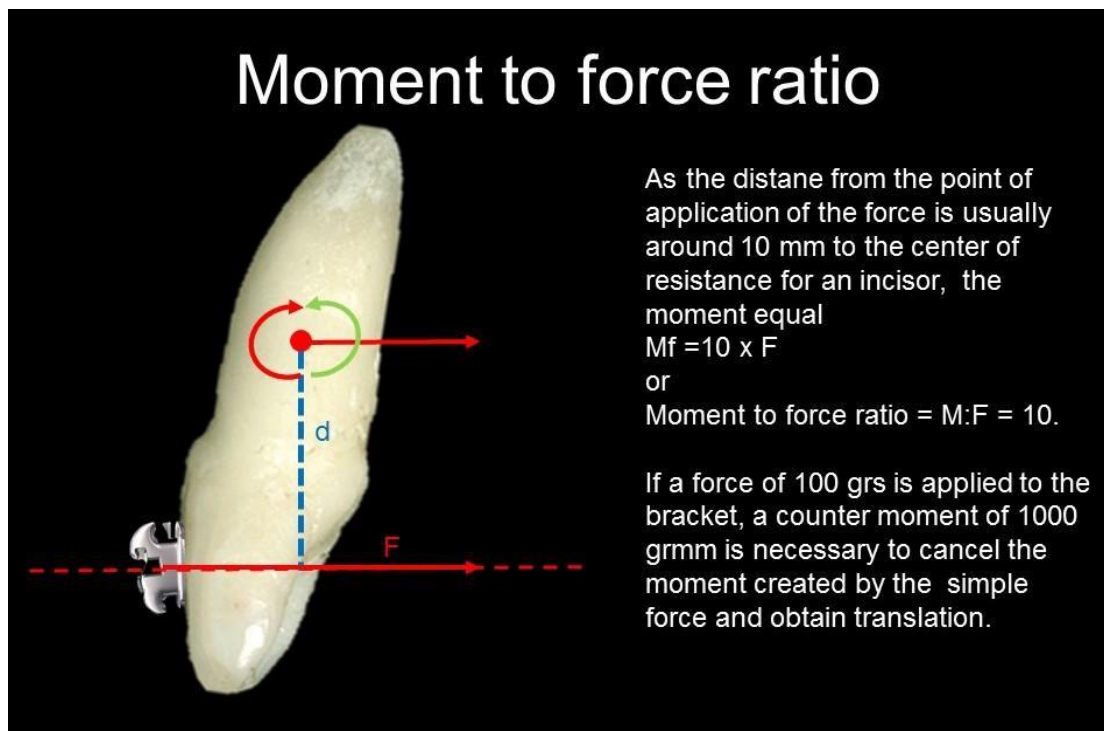


Figura 37: Raportul moment/forță pentru translație

Controlled Tipping:  
If we want the following movement:

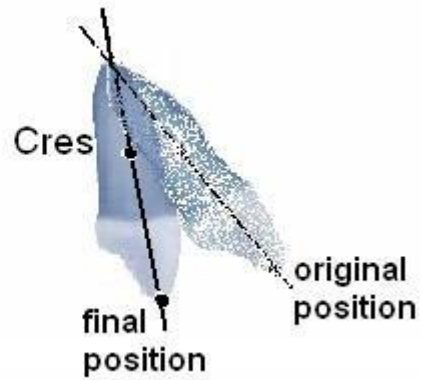
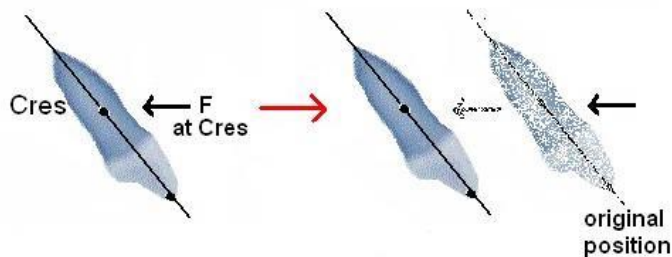


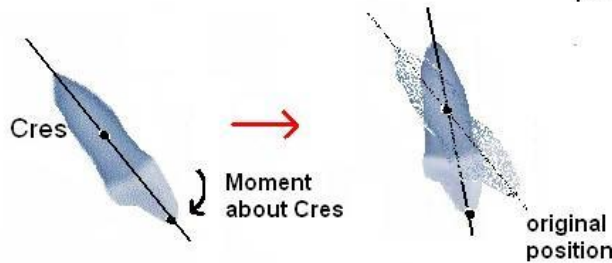
Figura 38: Deplasarea dorită

Break up the movement into its translation and rotation component parts

Translation:



Rotation:



Result:

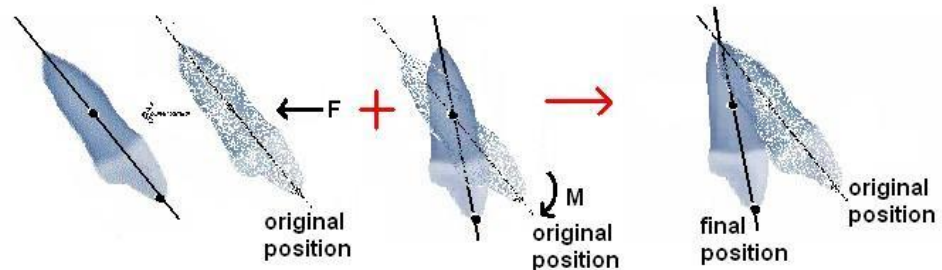


Figura 39: Combinația dintre rotație și translație pentru a produce versiune controlată

Prin modificarea raportului  $M/F$ , pot fi produse diferite centre de rotație. Figura 40 demonstrează efectele modificării raportului  $M/F$  asupra versiunii controlate. Dacă raportul  $M/F$  este scăzut ( $M$  este constant sau scăzut, iar  $F$  crește), atunci se va obține mai multă mișcare de translație, deoarece centrul de rotație merge spre vârful dintelui (cu alte cuvinte, departe de centrul de rezistență, spre infinit). Dacă



raportul M/F este mărit prin creșterea M sau prin scăderea forței, va exista mai multă rotație, deoarece centrul de rotație se va deplasa spre centrul de rezistență (cu alte cuvinte, se mișcă spre incizal față de poziția anterioară).

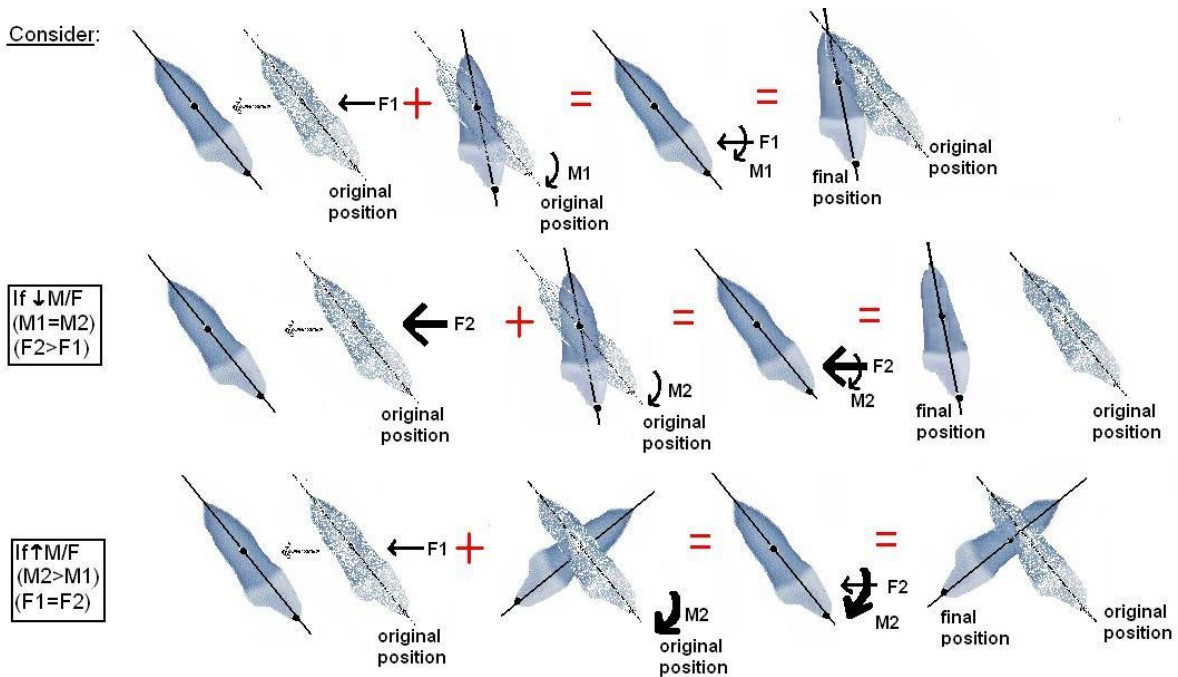
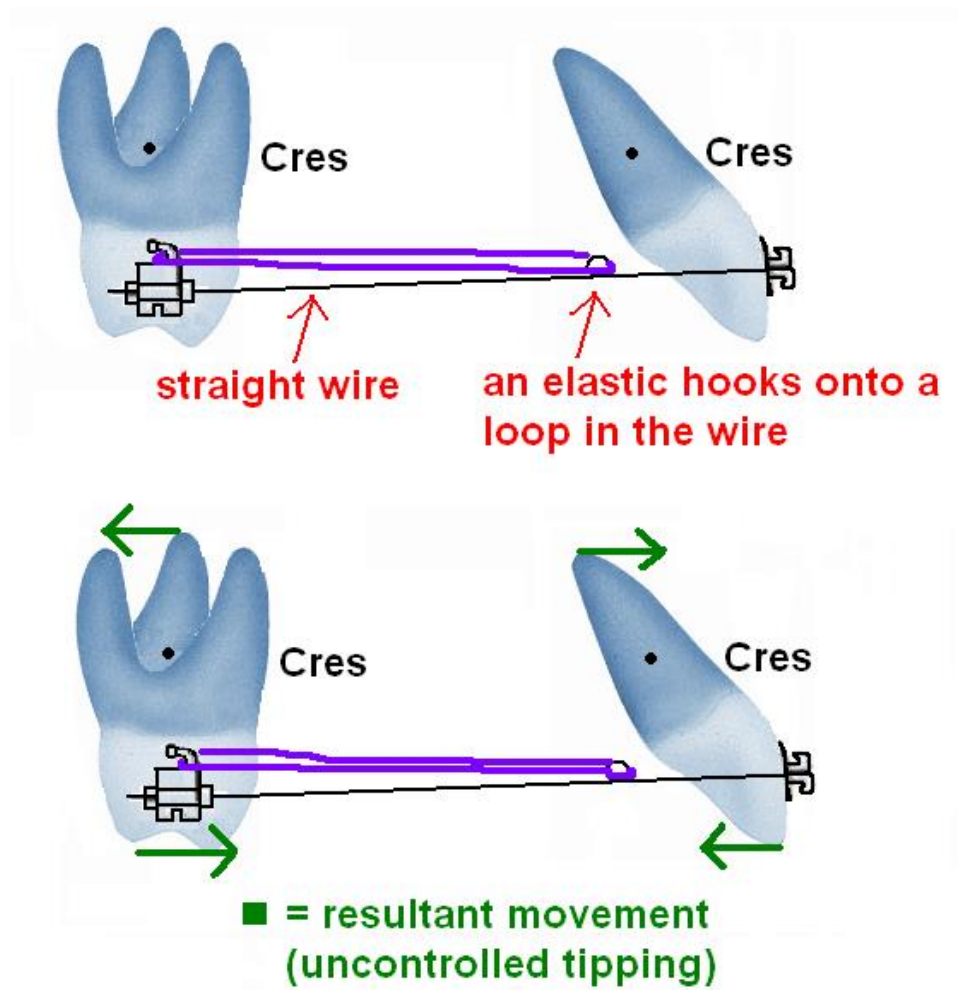


Figura 40: Efectele schimbării raportului moment-forță (M/F)

#### 8.4. Deplasări în funcție de variația forțelor și sistemelor

Putem aplica cunoștințele învățate din secțiunea echivalentă a sistemelor de forță la un exemplu din viața reală, cum ar fi rețracția incisivului. Folosind un molar ca ancoraj, nu putem pune doar un arc drept între incisivi și molar și să folosim o buclă și un elastic pentru

a distaliza, deoarece această situație va duce la bascularea necontrolată a ambilor dinți (centrul de rotație va fi la centrul de rezistență) (Fig. 41).



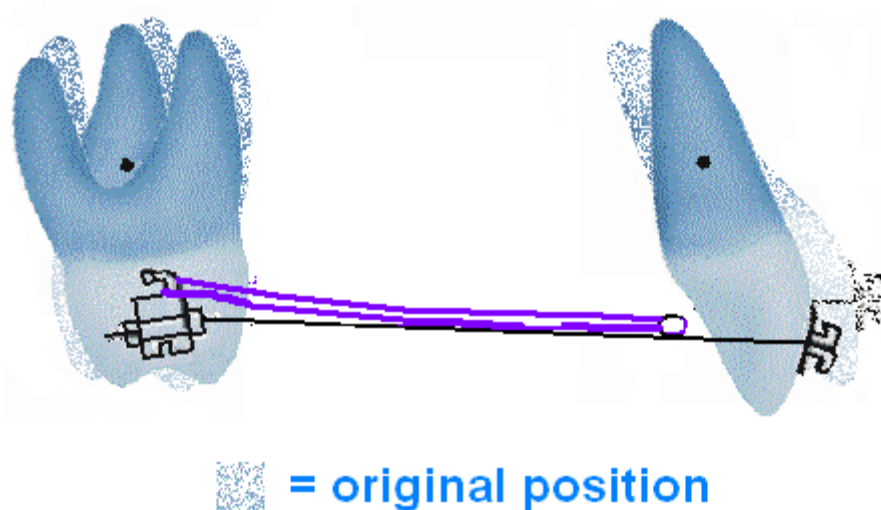


Figura 41: Retracția incisivilor folosind bucla elastică pe arc: Rezultatul este versiunea necontrolată.

Pentru a controla mișcarea, trebuie să adăugăm un moment la nivel coronar pentru a contracara momentul creat de forță, pentru a produce o mișcare de translație cât mai pură posibil (reamintim din nou sistemele de forță echivalente). Putem crea un moment la nivelul coroanei dintelui îndoind într-o locație astfel încât să existe o tendință a vârfului dintelui să se basculeze (într-un mod controlat) atunci când arcul este în poziție. Următorul exemplu ilustrează acest concept (Fig. 42).

In order to produce a moment as well as a force, a bend in the wire is necessary

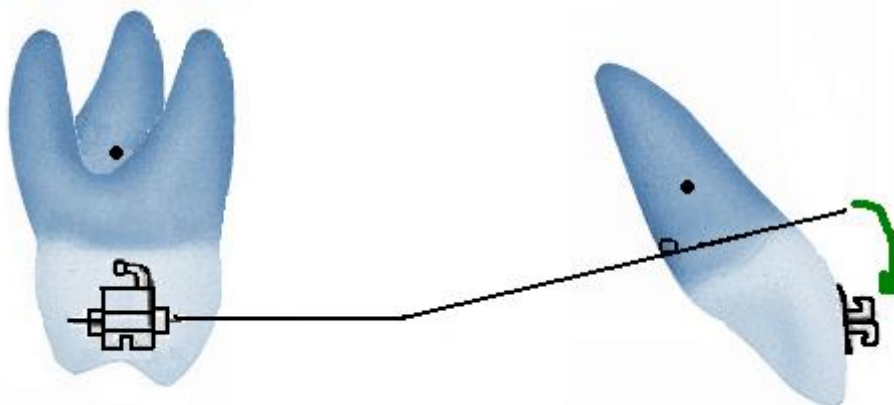


Figura 42: Producerea unui moment cu o îndoire a arcului, precum și o forță cu o buclă în arc

Pentru ca arcul să se potrivească în slotul bracketului de pe incisiv, arcul trebuie să fie ușor forțat în poziție. Odată ce este în poziție cu elasticul, exercită următoarele forțe asupra celor doi dinți în cauză ( $F_m$ ,  $M_m$  sunt forța și momentul pe molar;  $F_i$ ,  $M_i$  sunt forța și momentul asupra incisivului).

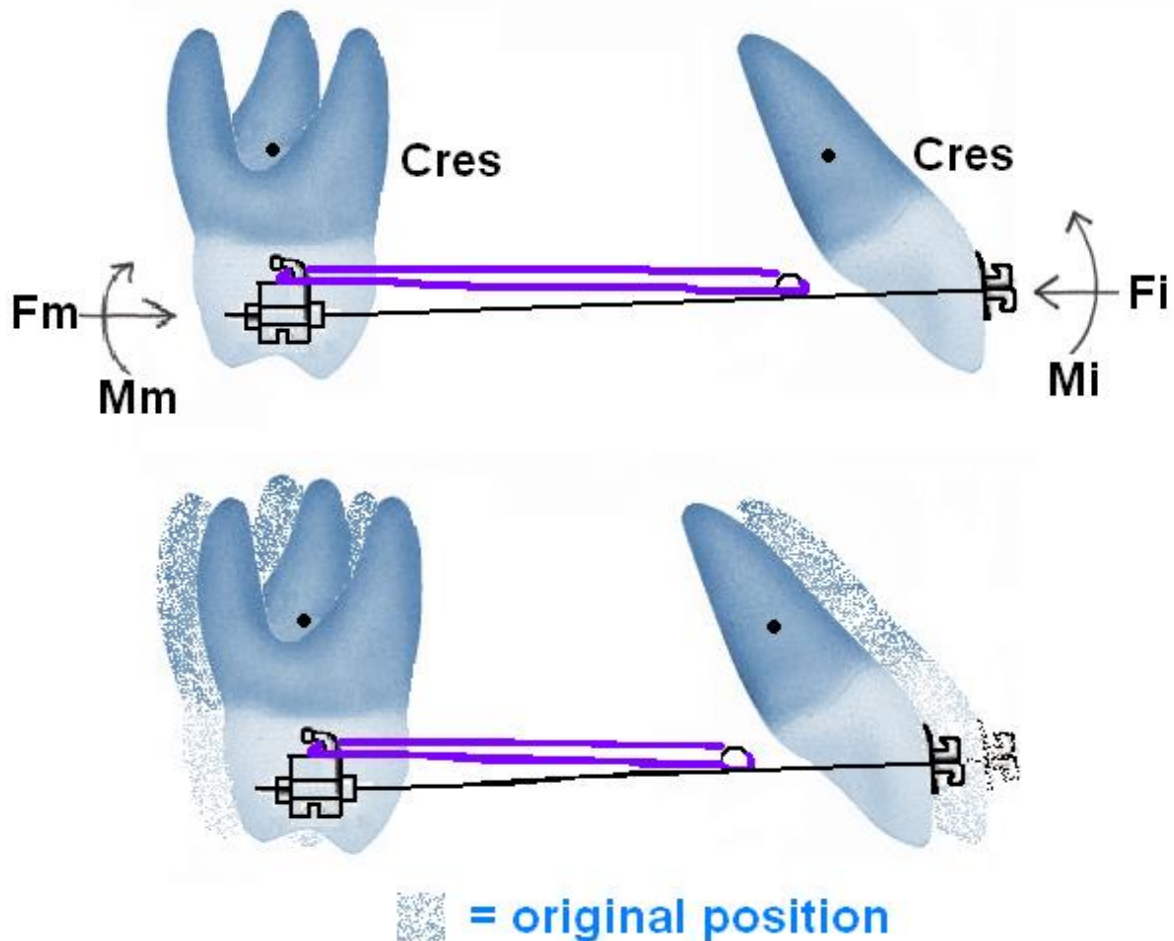


Figura 43: Mișcarea rezultată cu îndoirea și bucla în arc este rețracția incisivilor (bascularea este controlată și minimizată)

Acest exemplu demonstrează că ajustând raportul M/F putem produce un efect dorit de translație (Fig 43). Acest raport M/F poate fi ajustat în funcție de obiectivul planificat (ar putea fi dorită o anumită basculare). Raportul M/F poate fi ajustat în consecință și, dacă există control al mișcărilor, obiectivul va fi atins.

Raportul M/F este afectat nu numai de plasarea unui elastic și a unei îndoitori în arc. Tipul de elastic va afecta magnitudinea forței plasate asupra sistemului. În plus, tipul de arc (rotund sau pătrat), precum și diametrul acestuia vor influența raportul M/F.

Dacă se folosește un arc rotund în locul unui arc pătrat, va exista o basculare necontrolată, deoarece dintele se poate roti în jurul arcului (bracketul are un slot pătrat în timp ce arcul este rotund) (Fig. 44). Pe de altă parte, dacă se utilizează un arc pătrat, arcul va umple slotul

bracketului (pătrat în pătrat) (Fig. 45). Ca rezultat, există un moment care se creează pe măsură ce dintele este distalizat, care va contracara momentul care ar fi provocat bascularea necontrolată. În plus, dimensiunea arcului va afecta și rezultatul. Un arc mai subțire se va îndoi mai mult decât un arc mai gros, prin urmare mișcările corporale ale dinților se fac cel mai bine cu arcuri mai groase, deoarece acestea se vor îndoi mai puțin și își vor păstra forma, ghidând astfel mișcarea.

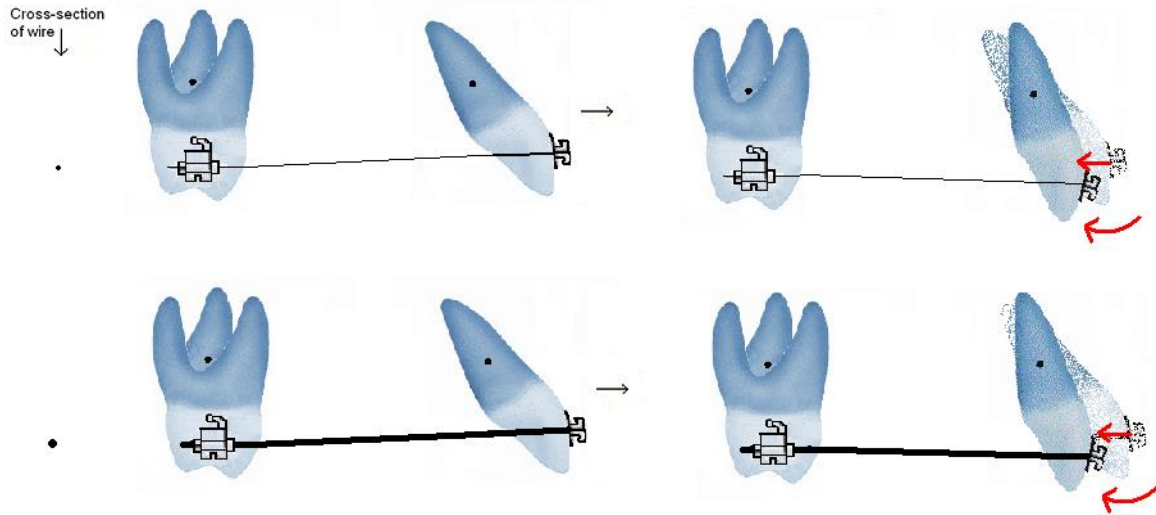


Figura 44: Mecanica de alunecare (în distalizarea caninului) cu un arc rotund de două diametre diferite

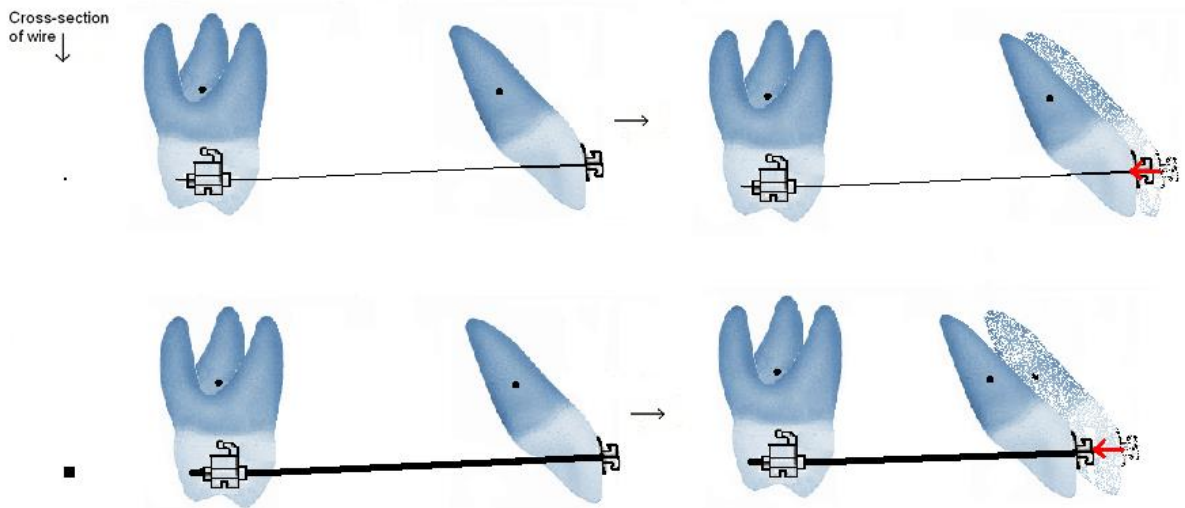


Figura 45: Mecanica de alunecare (în distalizarea caninului) cu un arc pătrat de două diametre diferite

## 8.5. SISTEME DE FORȚE ECHIVALENTE

Problema cu sistemele de forță descrise mai sus este că forțele descrise sunt adesea plasate la nivelul centrului de rezistență. Este imposibil să plasați un bracket la nivelul centrului de rezistență, deoarece se află pe suprafața rădăcinii. Soluția la această problemă este de a lua în considerare sisteme de forță echivalente. Sistemele de forță echivalente apar atunci când două sisteme de forță sunt egale în toate cele trei dimensiuni ( $x, y, z$ ), au momente egale și produc același efect asupra obiectului (sau dintelui). În ortodonție, sistemele de forță echivalente produc același efect indiferent dacă sistemul de forță este plasat la nivelul centrului de rezistență sau la nivelul coroanei (bracket / tub).

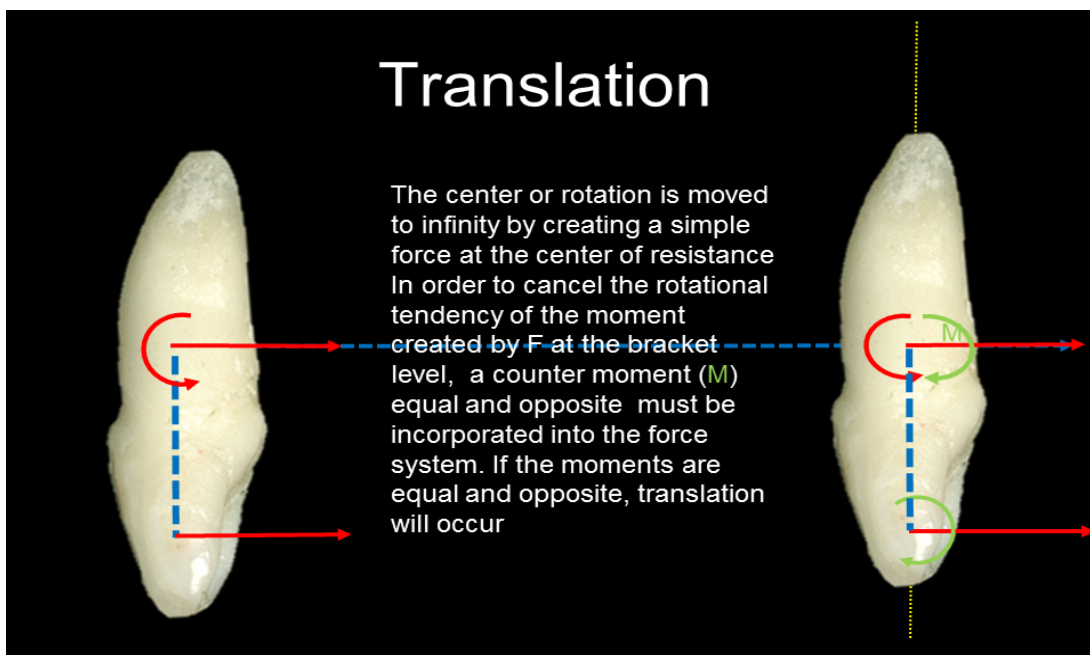


Figura 46: Exemplu de sisteme de forțe echivalente

Ce tip de sistem de forță va produce în B același efect (translație) ca în A, unde sistemul de forță din B se aplică la nivelul coroanei dintelui mai degrabă decât în centrul de rezistență ca

la A (Fig 46)? Folosind conceptele discutate mai sus, precum și rapoartele moment/forță, putem rezolva această problemă.

**(A)**

$$F1 = -300g$$
$$\Sigma M = 0$$

**(B)**

$$F2 = -300g$$

$$d = 10mm$$

$$M = F2 \times d = -3000g \text{ mm}$$

**(this is the moment produced by the force F2 on the crown of the tooth)**

F2 singur ar produce versiunea necontrolată a dintelui, deoarece există un moment la nivelul dintelui, iar dintele se rotește în jurul centrului de rezistență (Crot = Cres). Prin urmare, pentru a produce o mișcare de translație în sistemul B care este echivalent cu sistemul A, este necesar un moment la nivel coronar care este în direcție opusă momentului de la F2 singur, astfel încât momentul net al sistemului B să fie zero (ca în sistemul A). Prin urmare, momentul este  $M = + 3000g \text{ mm}$ .

Exemplu: Luați în considerare sistemul de forță echivalent necesar pentru mișcarea rădăcinii (Fig 47).

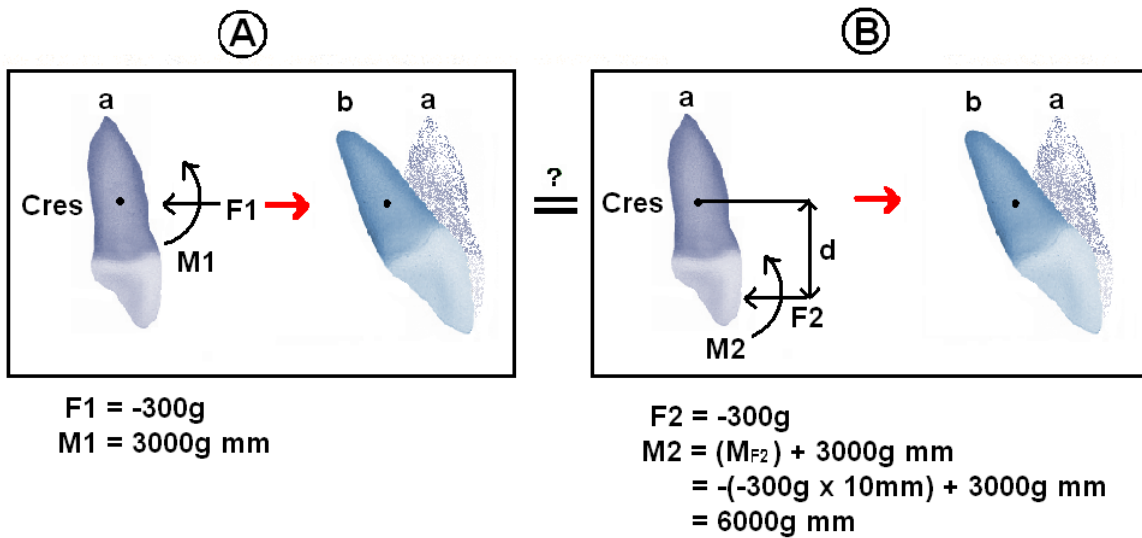


Figura 47: Calcule implicate în determinarea sistemelor de forță echivalente pentru mișcarea rădăcinii

În acest exemplu, sistemul A are o forță și un moment care acționează în centrul de rezistență pentru a produce mișcarea dorită a rădăcinii. În sistemul B, există un moment asociat cu forța  $F2$  (deoarece  $F2$  se aplică la nivelul coroanei și nu la nivelul centrului de rezistență), care trebuie contracarat pentru a controla centrul de rotație. Pentru a produce versiunea suplimentară controlată a dinților, un moment suplimentar este plasat pe dinte astfel încât să se obțină un rezultat echivalent în sistemul B, ca în sistemul A.

Câteva sugestii pentru controlul mișcării:

\* **Este mai bine să schimbi momentul, nu forța.**

- a) Pentru versiune controlată, micșorați momentul (micșorați  $M/F$ )
- b) Pentru translație, ajustați momentul astfel încât să aveți un sistem de forță echivalent
- c) Ancorați coroana pentru mișcarea rădăcinii (adică creșteți momentul)
- d) Translația nu va avea loc doar prin creșterea forței asupra obiectului.

Raportul  $M/F$  de la nivelul centrului de rezistență determină efectul asupra PDL. În zona PDL tensionată (departe de direcția mișcării dinților), osul este depus, iar osul de la nivelul PDL comprimat (spre direcția mișcării dinților) este resorbit.

Nu uitați că magnitudinea  $M/F$  va depinde de lungimea rădăcinii / topografia osoasă (deoarece distanța de la bracket la centrul de rezistență se poate modifica). De exemplu, dinții mai scurți necesită un  $M/F$  mai mic pentru translație în comparație cu dinții mai lungi.



## 9 ANCORAJUL

Ancorajul în ortodonție are o deosebită importanță, deoarece oferă rezistență la mișcările nedorite ale dinților. A treia lege a lui Newton este vitală pentru discuția de ancoraj. Amintiți-vă că fiecare acțiune are o reacțiune egală și opusă. Prin urmare, sistemul de forță utilizat pentru a mișca dinții va avea o forță de reacțiune egală și opusă asupra sistemului de ancoraj. Ancorajul poate fi intra-arcadic, inter-arcadic sau extraoral, fiecare oferind magnitudini diferite de stabilitate sau rezistență la mișcările nedorite. De exemplu, dinții, palatul, neuromusculatura, implanturile și structurile extraorale pot servi ca ancoraj.

Cantitatea de ancoraj necesară depinde de planul de tratament. De exemplu, pentru a închide un spațiu de extracție, există practic trei opțiuni; retrageți numai segmentul anterior (dinții posteriori sunt ancorați în poziție), retrageți dinții anteriori și avansați posteriorii sau avansați numai dinții posteriori.

Ancorajul maxim poate fi realizat cu ajutorul implanturilor (micro, mini, palatinale) și a dispozitivelor extraorale (headgear). Ancorajul maxim apare atunci când unitatea de ancoraj nu se mișcă în timp ce dinții sau grupul de dinți sunt deplasați. Acest lucru este dificil de realizat numai cu aparatele intraorale (fără implanturi), deoarece există întotdeauna un răspuns dentoalveolar care afectează unitățile de ancoraj. Un exemplu de aparat intraoral care oferă ancoraj puternic (deși nu la fel de mult ca alte set-up-uri de ancoraj maxim) este aparatul interarcadic Herbst.

Utilizarea miniimplantelor devine din ce în ce mai populară în ortodonție. Următorul exemplu arată cum un canin poate fi distalizat corporal folosind un miniimplant (Fig. 48). În acest caz, mișcarea distală corporală a dintelui are loc deoarece forța este mai aproape de centrul de rezistență. Rețineți că, cu implanturile (în special cele de pe suprafața bucală a osului alveolar) există o mișcare nedorită spre alt plan (spre bucal). Acest lucru poate fi minimizat de arcul utilizat în sistem (a se vedea discuția despre arcuri).

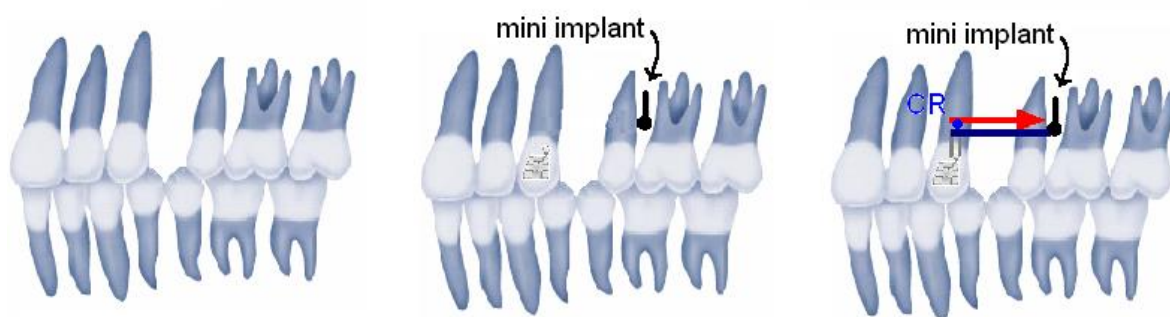


Figura 48: Utilizarea miniimplantelor în distalizarea canină

Ancorajul moderat apare atunci când unitatea de ancoraj poate fi deplasată, dar mai puțin decât dinții care sunt mutați. Ancorajul moderat se realizează, de obicei, cu aparate ancorate intraoral sau grupuri de dinți.

Se pot utiliza și combinații de ancoraj maxim și moderat. De exemplu, într-un al doilea caz de extracție premolară, în care încercăm să distalizăm primul premolar, dar dorim să evităm mezializarea primului molar, putem ancora primul molar de al doilea molar. Dacă am încerca să retragem întregul segment anterior, ar fi necesar un ancoraj suplimentar și s-ar putea adăuga un headgear. Ancorajul unui sistem poate fi mărit fie prin creșterea numărului de dinți care sunt legați împreună, fie prin adăugarea unui ancoraj extraoral, în funcție de rezultatele dorite ale tratamentului.

O situație care nu are ancoraj este mișcarea reciprocă, cum ar fi închiderea unui diasteme (Fig. 49).

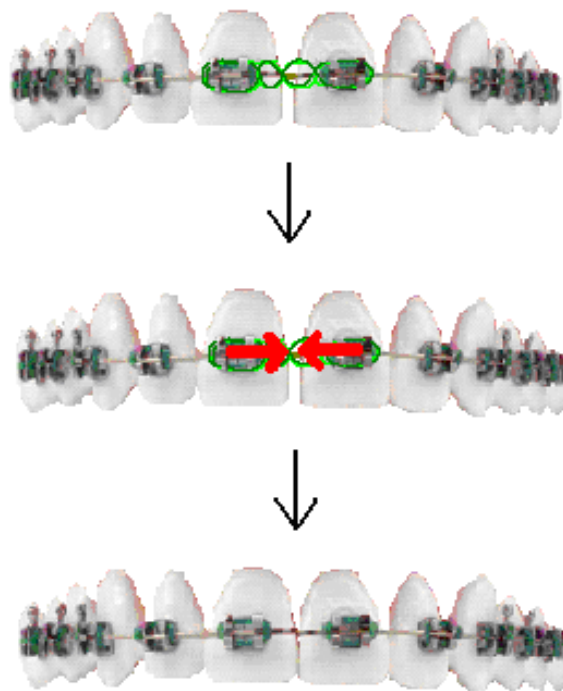


Figura 49: Deplasarea reciprocă în închiderea diastemei

## 9.1. Aplicații

### 9.1.1. Distalizarea caninului

Pentru a închide spațiul rezultat după extracția premolarului, caninul poate fi distalizat inițial, urmat de incisivi sau, alternativ, cei șase dinți anteriori pot fi distalizați în masă. Pentru a demonstra biomecanica distalizării, acest exemplu va folosi distalizarea caninului. Dintele este supus unei forțe motrice distale de-a lungul unui arc de ghidare. Deoarece forța este ocluzal față de centrul de rezistență, există o mișcare de versiune a dintelui. Această

mișcare de versiune este contracarată cu un cuplu de forțe creat de bracket și de arc, rezultând o mică schimbare a angulației axei lungi a dintelui. Acest cuplu de forțe depinde desigur de dimensiunea și forma secțiunii transversale a arcului. Arcul trebuie să umple slotul în așa fel încât cuplul să se producă. Rezultatul acestei acțiuni este un canin distalizat într-o poziție verticală a cărei rădăcină este paralelă cu rădăcinile dinților adiacenți.

### **9.1.2. Extruzia dentară**

Aplicațiile clinice ale mișcărilor dentare fac parte din ortodonție, dar fac parte și din alte specialități. De exemplu, dacă vrem să creștem lungimea clinică a coroanei unui dinte într-o situație în care nu putem face o procedură parodontală pentru a ne atinge obiectivul (de exemplu în zona anterioară sensibilă din punct de vedere estetic), extruzia ortodontică poate fi o opțiune. Extruzia ortodontică poate fi rapidă sau lentă, în funcție de obiectivele tratamentului și în funcție de mecanica (forțele) aparatului ortodontic utilizat. De exemplu, extruzia ortodontică poate fi utilizată pentru a pregăti un situs pentru un implant.

## 10 LECTURI SUGERATE

---

- Andrews, L. F. (1979). "The straight-wire appliance." British Journal of Orthodontics **6**(3): 125-143.
- Antoszewska, J. and N. Küçükkeles (2011). Biomechanics of Tooth-Movement: Current Look at Orthodontic Fundamental, INTECH Open Access Publisher.
- Barlow, M. and K. Kula (2008). "Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review." Orthodontics & craniofacial research **11**(2): 65-73.
- Beertsen, W., C. A. McCulloch and J. Sodek (1997). "The periodontal ligament: a unique, multifunctional connective tissue." Periodontology 2000 **13**(1): 20-40.
- Begg, P. R. (1954). "Stone Age man's dentition: with reference to anatomically correct occlusion, the etiology of malocclusion, and a technique for its treatment." American Journal of Orthodontics **40**(4): 298-312.
- Bridges, T., G. King and A. Mohammed (1988). "The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(3): 245-250.
- Brudvik, P. and P. Rygh (1993). "The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament." The European Journal of Orthodontics **15**(4): 249-263.
- Burstone, C. J. (1962). "Rationale of the segmented arch." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **48**(11): 805-822.
- Burstone, C. J. (2011). "Application of bioengineering to clinical orthodontics." Orthodontics-E-Book: Current Principles and Techniques: 345.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1974). "Force systems from an ideal arch." American journal of orthodontics **65**(3): 270-289.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1988). "Creative wire bending—the force system from step and V bends." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(1): 59-67.
- Burstone, C. J. and R. J. Pryputniewicz (1980). "Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces." American journal of orthodontics **77**(4): 396-409.
- Cahill, D. R. and S. C. Marks (1980). "Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle." Journal of Oral Pathology & Medicine **9**(4): 189-200.
- Cai, Y., X. Yang, B. He and J. Yao (2015). "Finite element method analysis of the periodontal ligament in mandibular canine movement with transparent tooth correction treatment." BMC oral health **15**(1): 106.
- Caputo, M., C. Di Luzio, A. Bellisario, F. Squillace and M. L. Favale (2017). "Evaluation Of The Effectiveness Of Clear Aligners Therapy In Orthodontic Tooth Movement."
- Castroflorio, T., F. Garino, A. Lazzaro and C. Debernardi (2013). "Upper-incisor root control with Invisalign appliances." J Clin Orthod **47**(6): 346-351.
- Chen, G., F. Teng and T.-M. Xu (2016). "Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **149**(3): 401-410.
- Choy, K., E.-K. Pae, K.-H. Kim, Y. C. Park and C. J. Burstone (2002). "Controlled space closure with a statically determinate retraction system." The Angle Orthodontist **72**(3): 191-198.
- Cobo, J., A. Sicilia, J. Argüelles, D. Suárez and M. Vijande (1993). "Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **104**(5): 448-454.
- Cope, J. (2011). "An interview with Jason Cope." Dental Press Journal of Orthodontics **16**(2): 36-46.
- Epstein, M. B. (2002). Benefits and rationale of differential bracket slot sizes: the use of 0.018-inch and 0.022-inch slot sizes within a single bracket system.
- Fiorelli, G., B. Melsen and C. Modica (2001). "Differentiated orthodontic mechanics for dental midline correction." Journal of clinical orthodontics: JCO **35**(4): 239.

Garino, F., T. Castroflorio, S. Daher, S. Ravera, G. Rossini, G. Cugliari and A. Deregibus (2016). "Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners." J Clin Orthod **50**(6): 341-347.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values. Part I." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(4): 434-443.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values: part II." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(5): 541-547.

Geramy, A., K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi and Y. Farajzadeh Jalali (2016). "Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios." Int Orthod **14**(2): 161-170.

Geron, S., R. Romano and T. Brosh (2004). "Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors—a theoretical approach." The Angle Orthodontist **74**(2): 195-201.

Giancotti, A. and A. A. Gianelly (2001). "Three-Dimensional Control in Extraction Cases Using a Bidimensional Approach." World Journal of Orthodontics **2**(2).

Giancotti, A., P. Mozzicato and M. Greco (2012). "En masse retraction of the anterior teeth using a modified bidimensional technique." Journal of Clinical Orthodontics **46**(5): 267.

Jacobs, R. and D. v. Steenberghe (1994). "Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review." Journal of periodontal research **29**(3): 153-167.

Kim, S.-J., J.-W. Kim, T.-H. Choi and K.-J. Lee (2014). "Combined use of miniscrews and continuous arch for intrusive root movement of incisors in Class II division 2 with gummy smile." The Angle Orthodontist **84**(5): 910-918.

Koenig, H. A. and C. J. Burstone (1989). "Force systems from an ideal arch—large deflection considerations." The Angle Orthodontist **59**(1): 11-16.

Kojima, Y. and H. Fukui (2014). "A finite element simulation of initial movement, orthodontic movement, and the centre of resistance of the maxillary teeth connected with an archwire." European Journal of Orthodontics **36**(3): 255-261.

Krishnan, V. and Z. e. Davidovitch (2006). "Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **129**(4): 469. e461-469. e432.

Kurol, J. and P. Owman-Moll (1998). "Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents." The Angle orthodontist **68**(2): 161-166.

Kusy, R. P. and J. C. Tulloch (1986). "Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **90**(2): 127-131.

Lavigne, G., J. Kim, C. Valiquette and J. Lund (1987). "Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication." Journal of Neurophysiology **58**(2): 342-358.

Lekic, P. and C. McCulloch (1996). "Periodontal ligament cell populations: the central role of fibroblasts in creating a unique tissue." The Anatomical Record **245**(2): 327-341.

Lindauer, S. J. (2001). The basics of orthodontic mechanics. Seminars in Orthodontics, Elsevier.

McCulloch, C. A. and S. Bordin (1991). "Role of fibroblast subpopulations in periodontal physiology and pathology." Journal of periodontal research **26**(3): 144-154.

Mcculloch, C. A., P. Lekic and M. D. Mckee (2000). "Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament." Periodontology 2000 **24**(1): 56-72.

Meling, T. R., J. Ødegaard and E. Ø. Meling (1997). "On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **111**(3): 310-320.

Melsen, B. (1999). "Biolo