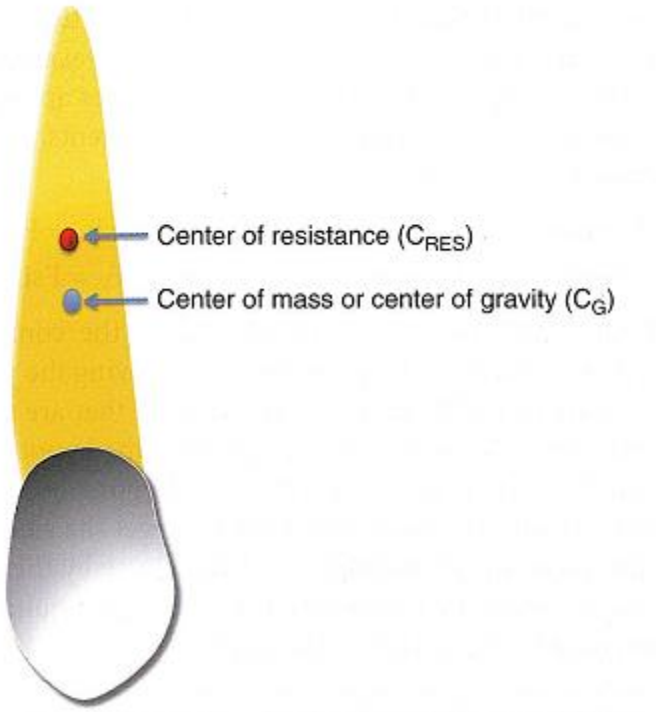
مرکز مقاومت، مرکز جاذبه، و مرکز جرم

زمانیکه نیرویی به یک جسم وارد می گردد، ماهیت حرکت آن تا حد زیادی توسط مرکز جرم آن تنظیم می گردد. مرکز جرم یک جسم نقطه ای است که تمام جرم جسم در آن متمرکز شده است (بدین معنی که اگر نیرویی از این نقطه بگذرد، سیستم یا جسم در یک خط مستقیم حرکت خواهد کرد). در همین راستا به یاد آورید که زمین نیرویی به هر قسمت یک سیستم وارد می کند که با جرم آن قسمت نسبت مستقیم دارد. اثر کلی نیروی جاذبه روی کل یک جسم یا سیستم، مشابه زمانی است که نیروی جاذبه تنها بر یک نقطه به نام مرکز جاذبه ی جسم وارد شود. مجدداً، اگر نیرویی بر این نقطه وارد شود، منجر به حرکت مستقیم جسم بدون هیچ چرخشی می گردد. تفاوت بین مرکز جرم و مرکز جاذبه آن است که سیستم مورد بررسی در حالت دوم یک "سیستم محدود" است (که توسط نیروی جاذبه محدود شده است).

دندانها بخشی از یک سیستم محدود هستند. در کنار جاذبه، آنها به طور غالب توسط ساختارهای پریودنتال اطراف دندان محدود شده اند که یکنواخت نیستند (شامل ریشه هستند اما تاج جزو آن ها نیست). در نتیجه دندان در صورت عبور نیرو از مرکز جاذبه یا مرکز جرم، در خط مستقیم حرکت نخواهد کرد زیرا ساختارهای احاطه کننده ی آن و ترکیب آنها، این نقطه را تغییر می دهند. برای حصول حرکت در خط مستقیم یک نقطه ی آنالوگ جدید برای مرکز جاذبه مورد نیاز است که مرکز مقاومت دندان (C_{RES}) نام دارد (تصویر ۷-۴).

مرکز مقاومت را می توان از طریق رابطه اش با نیرو نیز تعریف نمود: نیرویی که با عبور line of action آن از مرکز مقاومت، قادر به ایجاد یک حرکت translation خالص باشد. برای یک دندان خاص، این حرکت می تواند در جهت مزیودیستال، وستیبولولینگوال، اینتروزیو یا اکستروزیو باشد. محل مرکز مقاومت دندان مستقیماً وابسته به "ریشه کلینیکی" دندان است. این مفهوم، حجم ریشه را در بر می گیرد که شامل استخوان پریودنتال (یعنی فاصله ی بین alveolar crest و اپکس دندان) بوده و با افزایش ضخامت ریشه (یعنی سطح آن) افزایش می یابد.[۱] در نتیجه محل مرکز مقاومت نیز نتیجه ی طبیعت ساختارهای پریودنتال و دانسیته ی استخوان آلوئولار و الاستیسیته ی ساختارهای دسمودنتال است که قویاً در ارتباط با سن بیمار هستند.[۲-۴] این ملاحظات ما را وا می دارند تا به جای "مرکز مقاومت دندان"، اصطلاح "مرکز مقاومت مرتبط با دندان" (Center of resistance associated with the tooth) را به کار بگیریم.



تصویر ۷-۴ مرکز مقاومت یا C_{RES} دندان معمولاً اندکی اپیکال تر از مرکز جاذبه یا C_G آن قرار دارد. ساختارهای پریودنتال احاطه کننده ی ریشه ی دندان منجر به مهاجرت اپیکالی C_{RES} می گردند.

گشتاور (تورک)

زمانیکه یک نیروی خارجی به مرکز جاذبه (C_G) یک جسم وارد می شود، منجر به حرکت جسم بر روی یک خط مستقیم می گردد. این نوع نیرو که Line of action آن از C_G یا C_{RES} می گذرد، نیروی سنتریک نام دارد. به این ترتیب نیروهای eccentric (نیروهای off-center) نیز خارج از C_{RES} جسم وارد می شوند. اثر این نیروها چیست؟ نیروهای eccentric علاوه بر ایجاد حرکت در مسیر خطی، دارای یک اثر چرخشی هم هستند که تورک نام دارد؛ به بیان دیگر این نیروها یک "گشتاور" نیز روی جسم وارد می کنند. فاصله خارج محوری Line of action نیرو، بازوی نیرو (بازوی گشتاور، بازوی اهرم، بازوی تورک) نام دارد. هر چه این فاصله بیشتر باشد، تورک ایجاد شده توسط این نیرو هم افزایش می یابد. خصوصیات بازوی نیرو بسیار مهم هستند. بازوی نیرو کوتاهترین فاصله از محور چرخش تا Line of action نیرو است. کوتاهترین فاصله همواره معادل طول خط عمود بر line of action نیرو است. ($d_\perp$) علامت $\perp$ نشان دهنده ی خط عمود است. بازوی نیرو در تعیین میزان گشتاور وارده بر سیستم اهمیت دارد.

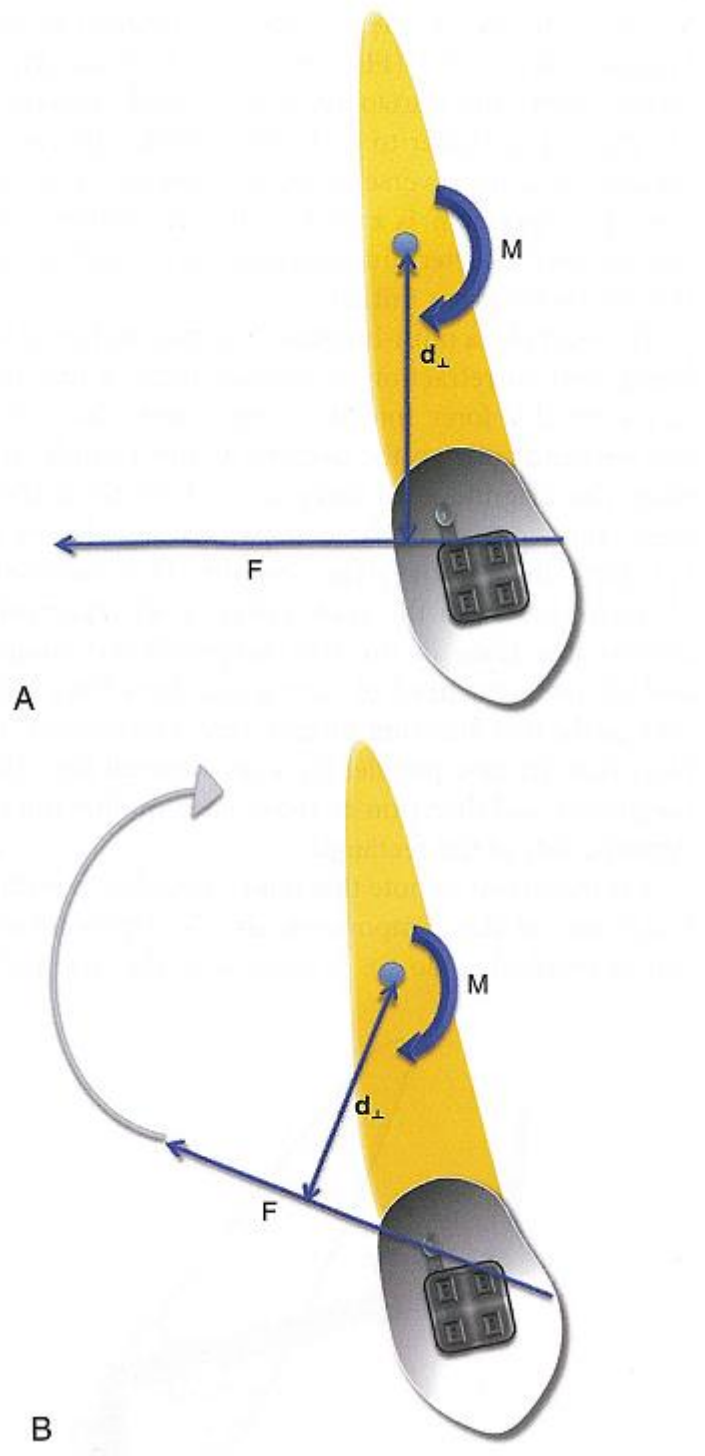
میزان گشتاور (M) چرخاننده ی سیستم حاصل ضرب بزرگی نیرو (F) در فاصله بازوی نیرو ($d_\perp$) است:

$$M = F (d_\perp)$$

میزان F با نیوتون، و اندازه ی $d_{\perp}$ با میلیمتر سنجیده می شود (تصویر ۸-۴، A).

در نتیجه واحد گشتاور در ارتودنسی نیوتون میلیمتر (Nmm) است. همان گونه که گفته شد نیوتون خیلی از اوقات با گرم جایگزین می شود؛ در نتیجه واحد گشتاور گرم-میلیمتر (g-mm) می گردد. هر چه میزان نیرو بیشتر یا بازوی نیرو طویلتر باشد، گشتاور نیز بزرگتر می گردد. این پدیده، به دلیل رابطه ذاتی بین گشتاور و نیروی مرتبط با آن، به عنوان "گشتاور نیرو" (moment of force or M_F) نیز شناخته می شود.

اگر نیروها با خط مستقیم رسم می شوند، می توان گشتاورها را با فلش های منحنی نمایش داد. می توان گشتاورهای ساعتگرد را به طور قراردادی در نمودارهای دو بعدی، به صورت مثبت و گشتاورهای پادساعتگرد را منفی در نظر گرفت (و بالعکس). سپس می توان این مقادیر را برای تعیین گشتاور خالص وارده بر یک دندان در یک نقطه خاص (مثلاً مرکز مقاومتش)، با یکدیگر جمع زد. نه نقطه ی اعمال نیرو و line of action مورد نیاز هستند نه روشهای گرافیک جمع زدن. جهت یک گشتاور با ادامه دادن Line of action نیرو حول مرکز مقاومت جسم تعیین می گردد (تصویر ۸-۴، B).



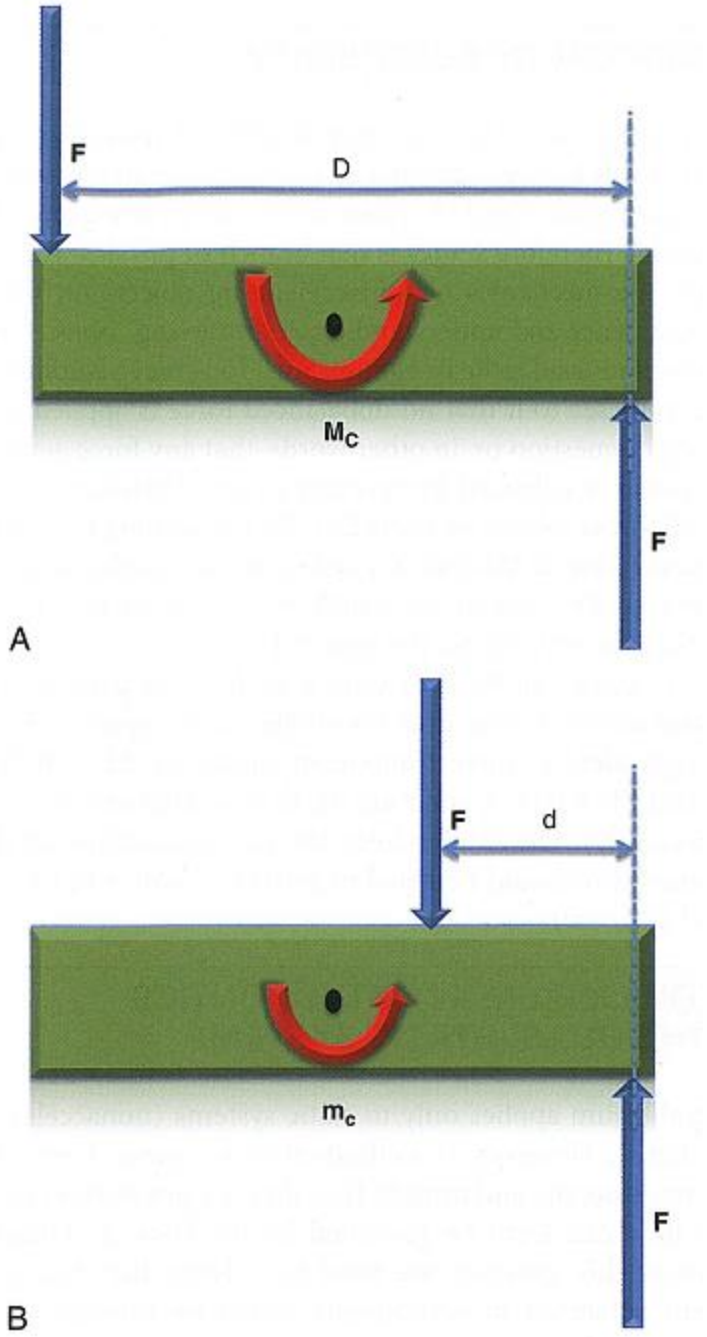
تصویر ۸-۴ A، گشتاور یک نیرو، معادل حاصلضرب اندازه ی نیرو در فاصله ی عمودی بین line of action و مرکز مقاومت است. **B**، می توان با امتداد دادن line of action حول مرکز مقاومت جسم، جهت گشتاور نیروی اعمال شده را مشخص نمود.

کوپل (یک نوع گشتاور)

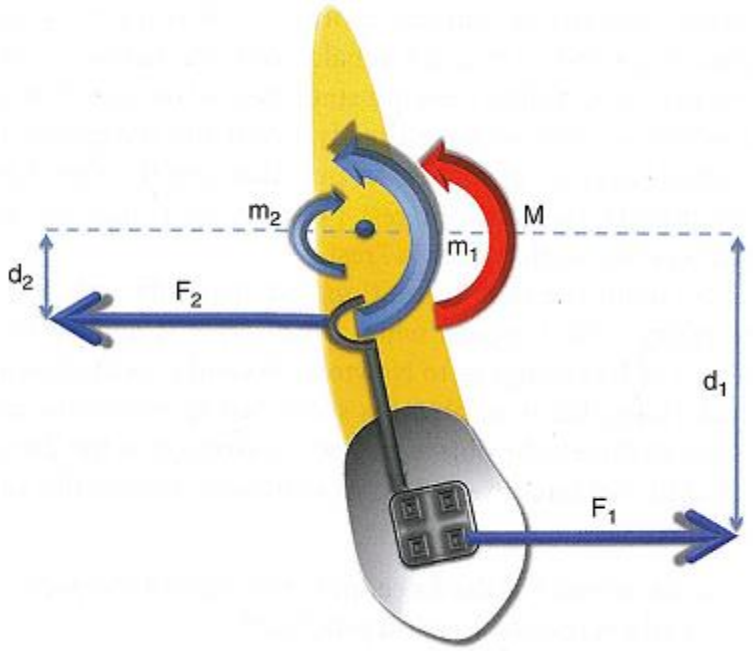
کوپل نوعی از گشتاور است که توسط یک جفت نیروی موازی هم اندازه اما با جهات مخالف هم تولید می شود. از آنجا که این نیروها مقادیر یکسانی و جهاتشان مخالف یکدیگر دارند، پتانسیل خالص این سیستم نیروی مخصوص برای translate کردن جسمی که به آن وارد می شود صفر است؛ بنابرین تنها چرخش وجود دارد.

یک کوپل معمولی در تصویر ۹-۴ نشان داده شده است. با وجود آنکه بردار کوپل در میانه ی بین دو نیرو ترسیم شده است، این بردار فاقد محل Line of action مخصوصی بوده و می تواند در هر نقطه ای از پلان کوپل رسم شود. بنابرین کوپل به عنوان یک "بردار آزاد" نیز شناخته می شود. این آزادی همراه با بردار کوپل، کاربردهای گسترده ای در ارتودنسی بالینی و پروسه های آنالیز نیروی خاصی دارد. به عنوان مثال صرف نظر از محل براکت روی دندان، یک کوپل وارده بر براکت تنها باعث ایجاد تمایل به چرخش دندان حول مرکز مقاومتش می گردد. این تمایل، گشتاور کوپل (M_c) نیز نام دارد.

میزان کوپل (M_c) وابسته به بزرگی نیرو و فاصله بین دو نیرواست. گشتاور ایجاد شده توسط یک کوپل در واقع جمع گشتاورهای ایجاد شده توسط دو نیرو است. اگر دو نیروی کوپل در دو سمت مقابل مرکز مقاومت نیرو اعمال شوند، اثر آنها، یک گشتاور تجمعی است؛ و اگر در یک سمت مرکز مقاومت نیرو وارد شوند، اثر آنها از هم کم می شود (تصویر ۱۰-۴). در هر حال هیچ نیروی خالصی توسط دندان حس نمی شود و تنها تمایلی برای چرخش خالص ایجاد می گردد.



تصویر ۹-۴ A، گشتاور ایجاد شده توسط یک کوپل، همواره حول C_{RES} یا C_G قرار دارد ($M_C = F \times d$). **B**، کوپل، علی رغم محل اعمال این جفت نیرو، همواره حول حول C_{RES} یا C_G عمل می کنند. با کاهش فاصله ی بین دو نیرو ($d < D$)، میزان کلی کوپل کاهش می یابد ($m_c < M_C$).



تصویر ۱۰-۴ کوپل توسط اعمال دو نیروی برابر و مخالف بر دندان ایجاد می شود. گشتاور کلی (M) جمع برداری دو گشتاور ایجاد شده (m_1 و m_2) توسط دو نیرو (F_1 و F_2) است. در اینجا، $m_2 = F_2 \times d_2$، $m_1 = F_1 \times d_1$) است. از آنجا که دو گشتاور غیر هم جهت هستند، یکی از آنها با علامت منفی و دیگری با علامت مثبت نشان داده می شود. گشتاور خالص (M) با جمع دو گشتاور محاسبه می گردد: $M = m_1 + (-m_2)$.