

Mise en évidence d'une relation entre la force prémolaire et la force molaire dans le cadre d'une approche simplifiée du fonctionnement de l'appareil manducateur

A. DHEYRIAT*, J. FRUTOSO**, M. LISSAC*

* *Laboratoire d'Etude des Interfaces en Odontologie, Faculté d'Odontologie, rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08.*

** *Laboratoire de Physiologie de l'Environnement, Faculté de Médecine, avenue Rockefeller 8, 69373 Lyon Cedex 08.*

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est de démontrer l'existence d'une corrélation entre les forces prémolaires et molaires enregistrées pendant un exercice de fermeture volontaire forcée de la mandibule. L'étude porte sur 32 volontaires de 21 à 28 ans, sans pathologie de l'appareil manducateur. Les forces sont enregistrées avec un capteur à quatre jauges *Kiowa* monté en pont complet. La possibilité d'appliquer le théorème des moments aux valeurs recueillies, montre qu'il existe une corrélation positive entre la force maximale développée au niveau prémolaire et la force maximale développée au niveau molaire. Ceci nous permet de proposer un modèle biophysique simple pour expliquer le fonctionnement de l'appareil manducateur.

MOTS CLÉS:

Force maximale - Appareil manducateur - Jauge de déformation - Théorème du moment - Fermeture volontaire forcée.

SUMMARY

The purpose of this study is to show the existence of a correlation between the premolar and molar clenching forces obtained during a voluntary clenching exercise. The study concerned 32 volunteers aged 21 to 28 with no manducatory problems. The forces were obtained using a device with four *Kiowa* traducers arranged in a complete Wheatstone bridge. The analysis of the results obtained showed that there was a positive correlation between maximum molar and premolar. The analysis also shows that these results are a direct application of the theory of momentum. This enables us to propose a simple biophysical model to explain the functioning of the manducatory system.

KEY WORDS:

Maximum bite force - Manducatory system - Occlusal traducer - Momentum theory - Voluntary clenching.

INTRODUCTION

La complexité de l'appareil manducateur a été soulignée par Ackermann (1953) qui le présente comme l'ensemble temporo-menisco-condylo-odontoparodonto-mandibulaire. Les recherches sur son fonctionnement ont été menées dans deux grandes directions: l'une a consisté à assimiler les résultats issus de l'étude de la coordination neuro-musculaire, l'autre a privilégié le critère purement mécanique.

Selon ce critère, que la mandibule soit assimilée à un levier du deuxième ou du troisième genre (Gysi 1921, Ackermann 1953), les notions mécaniques de force (musculaire ou occlusale) et de résistance (alimentaire) restent fondamentales pour la compréhension de la physiologie (Bonin 1972).

L'appréciation des forces induites au niveau de l'appareil manducateur demeure, au cours du temps, un sujet de recherche (Okajima 1986, De Brondeau 1991). Le but de la présente étude est de chercher à savoir s'il existe une corrélation entre les forces prémolaires et molaires et si le fonctionnement physiologique de l'appareil manducateur peut être ramené à un modèle biophysique simple.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

1. Appareil de mesure

Afin d'enregistrer les forces de plus grande intensité développées entre les prémolaires ou les molaires antagonistes, nous avons utilisé un capteur d'épaisseur optimale.

Le fonctionnement de ce capteur repose sur le principe des jauges de déformation. Il a été réalisé à l'aide de quatre jauges *Kiowa* (réf KTG 2 120 D9 11N 10C2) montées en pont complet, reliées à une électronique conçue autour d'un amplificateur d'instrumentation AD524 de chez *Analod Device* suivi d'un amplificateur TL 704. Le tout permet l'affichage de la valeur directement en «kg forces». La courbe de réponse, en fonction de la force exercée indique une fiabilité jusqu'à 150 kg forces.

2. Population

Trente-deux sujets ont été examinés dont 15 femmes et 17 hommes, leur âge étant compris entre 21 et 28 ans.

Ils ont été soumis à un examen préliminaire qui fait ressortir que tous sont en bonne santé, que tous sont exempts de pathologie dentaire et gingivale et

qu'aucun ne présente une édentation, pour tenir compte, ainsi, des travaux rapportés par Bakke *et col.* (1990) et Corrucini *et col.* (1985). Aucun ne présente de troubles de l'ATM.

3. Méthodologie

Le sujet est assis sur un tabouret. Il s'agit, pour lui, de nous donner une force maximale physiologique, c'est-à-dire une force maximale qui n'engendre ni gêne, ni douleur. Les forces ne sont enregistrées que d'un seul côté, sans contrepartie controlatérale, dans une situation comparable à la mastication (Fields *et col.* 1986, Van Eijden 1990).

Nous procédons à l'enregistrement avec des épaisseurs optimales de capteur. Au niveau prémolaire, la valeur de l'épaisseur optimale a été déterminée après avoir testé des épaisseurs croissantes de capteur [(Dheyriat *et col.* 1996)]. Au niveau molaire, cette épaisseur a été obtenue en mesurant la hauteur d'une cône de cire écrasée en même temps que le capteur choisi pour la zone prémolaire.

Pour chaque épaisseur retenue, l'enregistrement est renouvelé trois fois afin de déterminer les valeurs moyennes de plus grande intensité prémolaires (Fpm max) et molaires (Fm max).

L'axe charnière est repéré par palpation. Nous mesurons la distance de la zone prémolaire (Lpm) ainsi que la distance de la zone molaire (Lm) à cet axe.

Ces distances nous sont utiles dans la détermination mathématique de la valeur de la force maximale molaire calculée à l'aide du théorème des moments, appliqué aux muscles masticateurs par rapport à l'axe de rotation condylien.

Vérifier le bien fondé de la supposition que nous puissions assimiler le fonctionnement de l'appareil manducateur selon un modèle biophysique simple, consiste à comparer des valeurs théoriques de forces obtenues par calcul à des intensités réelles recueillies par expérimentation.

En ayant recours à la méthode de calcul du moment, avec la connaissance d'une valeur force maximale obtenue à une distance enregistrée de l'axe de rotation, pour une épaisseur optimum (par exemple au niveau prémolaire), nous pouvons calculer la valeur force maximale dans une zone plus postérieure (au niveau molaire) à une distance différente et connue de l'axe, pour une épaisseur optimum correspondante.

En admettant que la force élémentaire globale résultante des muscles masséter, temporal et ptérygoïdien soit égale à F_r , appliquée en un point considéré comme ponctuel au sein de la masse musculaire masticatrice de l'appareil manducateur, et distant de L_r de l'axe de rotation, considéré, lui aussi, comme ponctuel, nous pouvons écrire que le moment de F_r est :

$$\mathfrak{M} F_r = F_r \times L_r$$

or, sur les prémolaires, la force qui s'exerce est F_{pm} tel que :

$$\mathfrak{M} F_r = \mathfrak{M} F_{pm} \text{ d'où } F_r \times L_r = F_{pm} \times L_{pm}$$

et, sur les molaires, la force qui s'exerce est F_m tel que :

$$\mathfrak{M} F_r = \mathfrak{M} F_m \text{ d'où } F_r \times L_r = F_m \times L_m$$

Nous avons alors :

$$\Rightarrow F_{pm} \times L_{pm} = F_m \times L_m$$

$$\Rightarrow F_m = F_{pm} \times \frac{L_{pm}}{L_m}$$

avec F en « Kg forces » et L en « mètres ».

A partir des valeurs enregistrées de F_{pm} max et de L_{pm} et L_m , nous cherchons F_m max par le calcul, et nous comparons le résultat obtenu mathématiquement avec la valeur expérimentale donnée au moyen du capteur d'épaisseur optimum, construit en ayant au préalable mesuré la hauteur de la côle en cire.

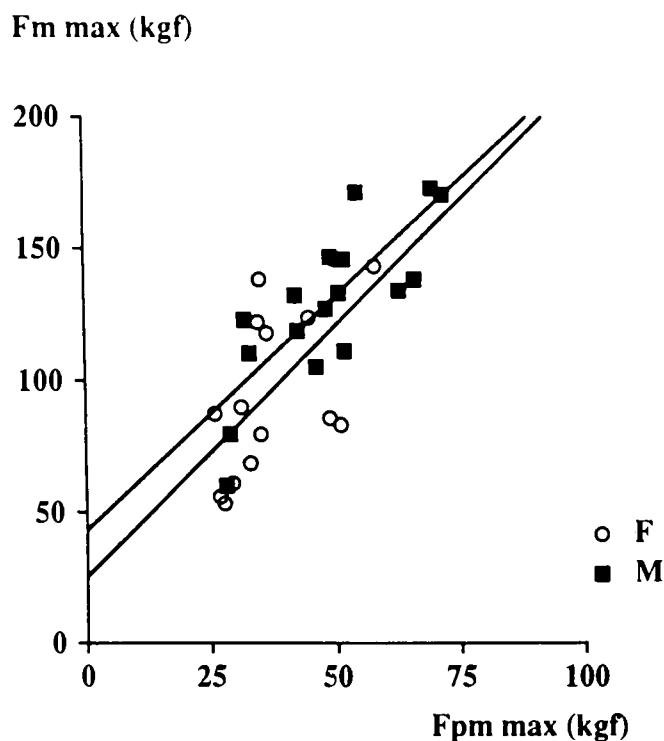
4. Etude statistique

Les valeurs obtenues ont été traitées sur un plan statistique à l'aide du test *Anova* sur les variances.

RÉSULTATS

Les résultats se présentent comme suit :

- le graphique 1 montre, pour une épaisseur optimale de capteur (quelle que soit sa valeur), la relation entre les forces maximales prémolaires et molaires, suivant le sexe.
- le graphique 2 met en évidence la relation entre les valeurs calculées de force maximale molaire et les valeurs enregistrées de ces mêmes forces.



$$F_m \text{ (kgf)} = 25,247 + 1,9 * F_{pm} \text{ (kgf); } R^2 = ,363 \text{ (F)}$$

$$F_m \text{ (kgf)} = 42,809 + 1,767 * F_{pm} \text{ (kgf); } R^2 = ,624 \text{ (M)}$$

Graphique 1: Le graphique 1 nous permet d'affirmer qu'il existe une relation linéaire entre la force maximale molaire et la force maximale prémolaire.

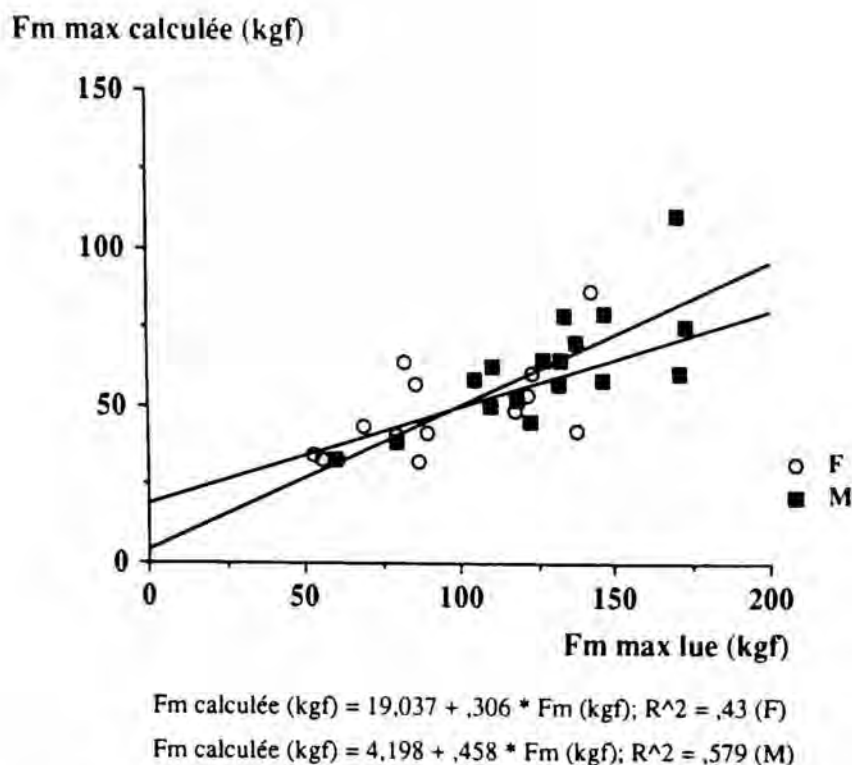
- Pour une population féminine (F) nous avons: $F_m \text{ max} = 1,89 \times F_{pm} \text{ max} + 25,17$ avec $R^2 = 0,36$
- Pour une population masculine (M) nous avons: $F_m \text{ max} = 1,77 \times F_{pm} \text{ max} + 42,81$ avec $R^2 = 0,62$

Graph 1: This graph shows that there is a linear relationship between the maximum molar and premolar bite forces.

- For the female population (F) the formulation is: $F_m \text{ max} = 1.89 \times F_{pm} \text{ max} + 25.17$ with $R^2 = 0.36$
- For the male population (M) the formulation is: $F_m \text{ max} = 1.77 \times F_{pm} \text{ max} + 42.81$ with $R^2 = 0.62$

DISCUSSION - CONCLUSION

Le but de notre étude était de savoir, en premier lieu, s'il existait une corrélation entre les forces molaires et les forces prémolaires enregistrées expérimentalement. Il nous a été possible d'établir des droites standards de proportionnalité, prouvant que plus la force prémolaire augmente, plus la force molaire augmente pour tout individu.



Graphique 2: Le graphique 2 fait référence au théorème des moments. En fonction du sexe, il montre la corrélation entre les forces maximales molaires enregistrées et les forces maximales molaires calculées.

- Pour la population féminine:
Fm max calculée = 0,3 Fm lue + 19 avec R² = 0,43
 - Pour la population masculine:
Fm max calculée = 0,45 Fm lue + 4,19 avec R² = 0,57
- Graph 2: Graph 2 shows for male and female populations that there is a correlation between observed maximum clenching forces and calculated maximum clenching forces obtained using the momentum theory.
- For the female population:
maximum calculated force = 0.3 maximum observed force + 19 with R² = 0.43
 - For the male population:
maximum calculated force: 0.45 maximum observed force + 4.19 with R² = 0.57

Mais, il ne nous a pas été possible de faire ressortir l'existence d'un facteur mathématique simple commun reliant les facteurs des forces molaires aux valeurs des forces prémolaires, ces valeurs étant trop dispersées.

Par contre, nous avons montré que nous pouvions appliquer le théorème des moments, prouvant, en

cela, qu'il nous est possible, comme nous le cherchions en second lieu, de ramener le fonctionnement physiologique de l'appareil manducateur à un modèle mécanique biophysique simple.

Cependant, l'application du théorème des moments suppose de satisfaire à deux conditions. La première consiste à considérer l'existence d'une force élémentaire globale résultante des muscles masticateurs. La seconde consiste à considérer l'axe charnière de rotation comme ponctuel passant par le centre des condyles mandibulaires.

Avant de définir la nature d'une force globale masticatrice, il faut rappeler au préalable qu'il existe quatre masses musculaires principales masticatrices capables de mobiliser la mandibule par rapport au massif facial supérieur: le masséter, le temporal, les ptérygoïdiens internes-externes.

Si nous prenons pour exemple le masséter, ces fibres sont orientées selon les grands axes des différents chefs du muscle et déterminent la direction de la force «fi», qui, de fait, n'est pas perpendiculaire à une droite virtuelle passant par le centre O de rotation et le point d'application P de la force situé à une distance «li» du centre (Fig. 1).

Si nous voulons calculer le moment \mathfrak{M}_i de cette force, il nous faut envisager «Fi», la force musculaire élémentaire perpendiculaire à l'axe OP, dont la direction définit avec «fi» un angle α_i .

Nous avons alors:

$$\mathfrak{M}_i = F_i \times l_i$$

$$\Leftrightarrow \mathfrak{M}_i = (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Ainsi, le moment global du muscle masséter dans son ensemble correspond, alors, à la somme des moments des forces élémentaires:

$$\mathfrak{M} = \sum_{i=1}^n F_i \times l_i$$

$$\Leftrightarrow \mathfrak{M} = \sum_{i=1}^n (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Le raisonnement demeure valable pour le temporal (Fig. 2) et les ptérygoïdiens internes et externes.

Mais, si nous voulons être rigoureux et calculer le moment d'une force appliquée à un point anatomique précis, situé à une distance donnée de l'axe de rotation, nous devons connaître l'ensemble des fibres élémentaires massétériques temporales et ptérygoïdiennes dont la direction passe par le point en question.

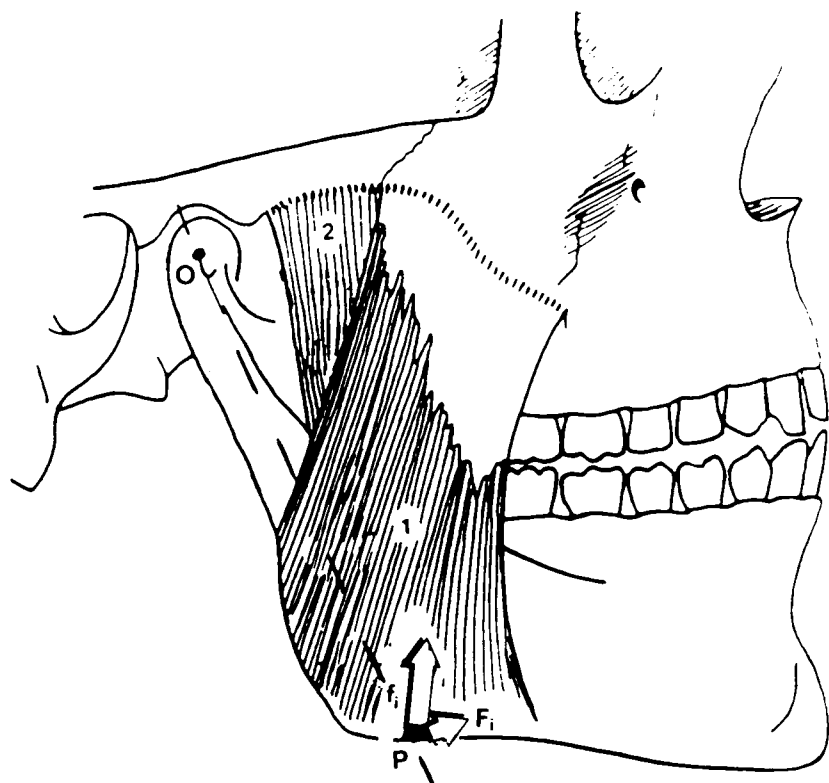


Fig. 1: Force élémentaire masséterine

F_i = force musculaire élémentaire perpendiculaire à l'axe OP
 l_i = distance du point d'application P de cette force à l'axe de rotation O

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^n F_i \times l_i$$

f_i : force élémentaire exercée selon l'orientation du muscle
 α_i : angle que fait la direction de la force f_i avec la direction de la force F_i

$$\Leftrightarrow \mathbf{M} = \sum_{i=1}^n (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Fig. 1: Elementary masseter muscle force

F_i = elementary force perpendicular to the OP axis

l_i = distance from application point P to rotation axis O

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^n F_i \times l_i$$

f_i : elementary force applied along the muscle

α_i : angle between perpendicular (F_i) and longitudinal (f_i) directions of elementary muscular forces

$$\Leftrightarrow \mathbf{M} = \sum_{i=1}^n (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Cela s'avère impossible. Pour expliquer nos résultats et ramener le fonctionnement de l'appareil manducateur à un concept simple, il nous faut nécessairement schématiser l'influence qu'ont ces muscles sur les mouvements mandibulaires.

Radford et Ash (1975) nous rappellent qu'il est surréaliste d'attribuer à chaque muscle une fonction simple principale, sauf pour raison de convenance. Ces

muscles masticateurs interviennent dans les mouvements d'ouverture-fermeture, propulsion, rétro-pulsion, mouvements latéraux de la mandibule (Lavigne 1972, Gola, Chossegros et Orthlieb 1992).

D'après Rouvière (1967) le muscle masséter est le muscle élévateur principal de la mandibule surtout destiné à l'écrasement et au morcellement.

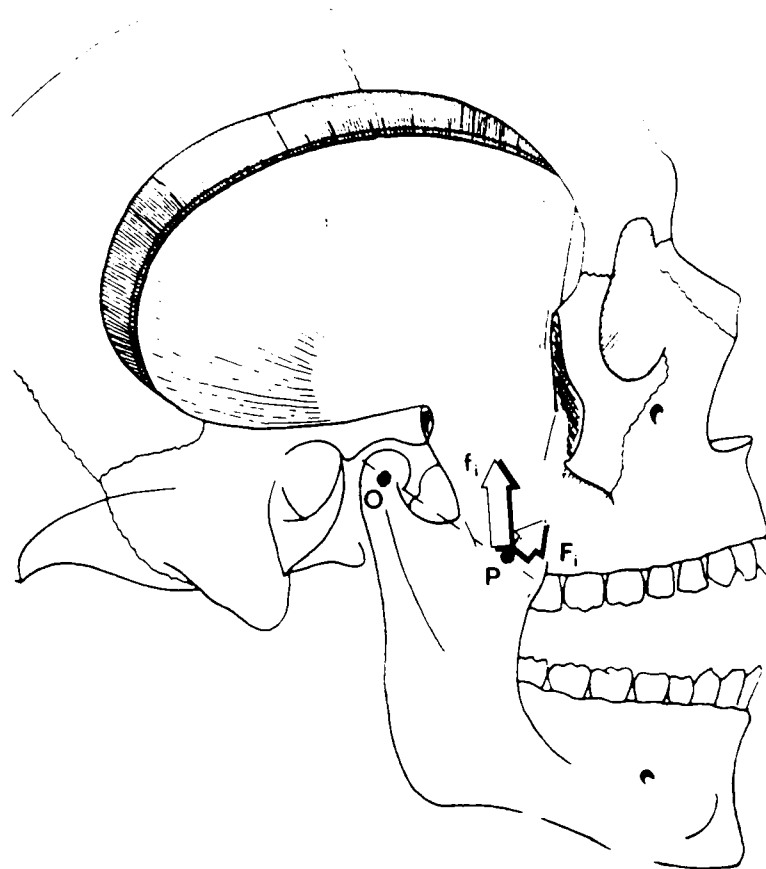


Fig. 2: Force élémentaire temporale

Les forces f_i développées selon l'orientation de ce muscle réalisent un éventail

f_i : force élémentaire exercée en fonction de la morphologie du muscle

F_i : force élémentaire exercée perpendiculaire à l'axe OP

l_i : distance du point d'application P de la force élémentaire à l'axe de rotation O

α_i : angle que fait la direction de f_i avec celle de F_i de même:

$$\Leftrightarrow \mathbf{M} = \sum_{i=1}^n (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Fig. 2: Elementary temporalis muscle force

The f_i force paths are fan-shaped in the temporalis

f_i : elementary force applied longitudinally according to the morphology of the muscle fibers

F_i : elementary force perpendicular of the OP axis

l_i : distance between application point P and rotation axis O

α : angle between F_i and f_i muscular force paths

$$\Leftrightarrow \mathbf{M} = \sum_{i=1}^n (f_i \times \cos \alpha_i) \times l_i$$

Nous pouvons envisager la force élémentaire globale en un point donné comme étant, certes, le résultat de forces élémentaires massétériques, temporales et ptérygoidiennes, mais symbolisée par la force massétérique qui caricature la force occlusale.

Pour expliquer le fait qu'il est possible de se référer au théorème du moment, il faut également valider la deuxième condition et envisager la mandibule comme un levier en rotation autour de l'axe condylien.

Posselt (1964) a bien décrit que, dans le cadre de la cinématique mandibulaire, il existe deux formes fondamentales de mouvements: la rotation et la translation.

De nombreux auteurs s'accordent à dire que nous ne pouvons retenir une rotation axiale pure que dans les mouvements d'ouverture guidés en rotation.

En dehors d'une position postérieure recherchée (relation centrée), les mouvements d'ouverture et fermeture sont complexes, car formés d'une combinaison rotation-translation; le centre de rotation translate suivant un trajet curviligne, variable d'un individu à l'autre, en fonction, d'une part à l'ouverture des attaches latérales du ménisque intervenant dans la composition de translation, d'autre part à la fermeture du retour du complexe condylo-méniscal dans la cavité glénoïde, sous la dépendance de la morphologie propre du ménisque et du relief des surfaces articulaires, ainsi que sous la dépendance, pour l'essentiel de la contraction musculaire du ptérygoïdien externe et des attaches antéro-postérieures du ménisque.

Nous retiendrons comme conception acceptable de définir l'articulation temporo-mandibulaire comme une articulation charnière à glissière dont le fonctionnement est alors comparable à un casse-noix (Fig. 3).

Ainsi, si nous admettons les deux conditions citées, nous vérifions, qu'au delà de la complexité de l'appareil manducateur, la justification des résultats obtenus par utilisation du théorème du moment nous donne le droit de ramener le fonctionnement physiologique de cet appareil à un modèle mécanique biophysique simple.

D'ailleurs, le fait que l'intensité de la force occlusale diminue du secteur molaire au secteur prémolaire peut nous le laisser supposer (Linderholm et Wennström 1970).

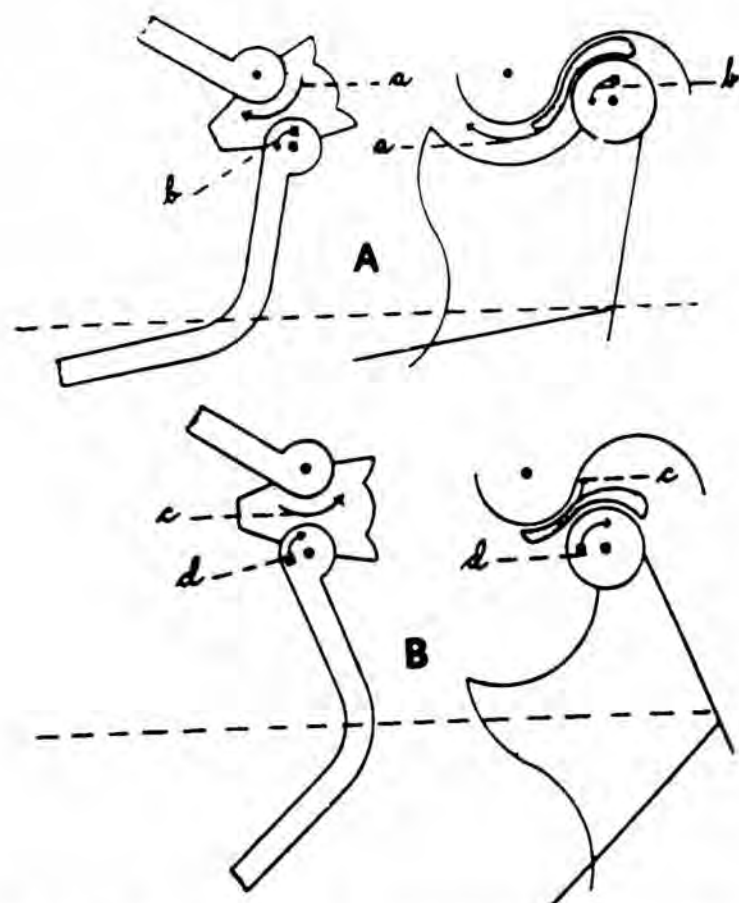


Fig. 3: Cette figure illustre la ressemblance qui existe entre un casse-noix à deux branches et l'articulation temporo-maxillaire, lors des mouvements d'ouverture et de fermeture (D'après Posselt - 1964).

Fig. 3: This figure shows the resemblances between a nut-cracker with two handles and two axes and the temporo-mandibular joint during opening and closing (From Posselt - 1964).

Soulignons cependant que la présentation de ce fonctionnement ne trouve sa crédibilité que dans la mesure où l'angle de roto-translation reste faible, ce qui sous entend, dans la mesure où la translation, lors du mouvement d'ouverture, est réduite, voir nulle. Ce constat implique, par la même, que l'ouverture buccale doit rester limitée pour correspondre à une longueur globale optimale musculaire permettant de développer la plus grande tension.

Dans la mesure où l'ouverture maximale entre les prémolaires antagonistes se situe entre 35 et 45 mm selon les individus, nous pouvons, en bonne conscience, supposer qu'il n'existe aucune réserve à cette condition pour une épaisseur optimale prémolaire moyenne de 6,5 mm et molaire de 5,2.

BIBLIOGRAPHIE

Ackermann, F. — Le Mécanisme des Mâchoires. Masson Edition, Paris, 1953.

Bakke, M., Betty, H., Jensen, B.Z., Michler, L., Noller, E. — Unilateral isometric bite force in 8-68 years old women and men related to occlusal factors. *Scand. Dent. Res.*, 98: 149-158, 1990.

Bonin, Ph. — Modification de l'appareil manducateur chez les sujets privés de viande. Mesures des forces masticatoires. Thèse 3^e Cycle, Sciences Odontologiques, Lyon, 1972.

Corrucini, R.S., Henderson, A.M., Kaul, S.S. — Bite force variation related to occlusal variation in rural and urban Punjabis (North India). *Arch. Oral Biol.*, 30: 65-69, 1985.

Dheyriat, A., Frutoso, J., Lissac, M. — Détermination de l'intensité des forces maximales prémolaires et molaires au cours de la contraction isométrique des muscles masticateurs par fermeture forcée de la mandibule. *Bull. G.I.R.S.O.*, 1996.

Fields, H.W., Proffit, W.R., Case, J.C., Vig, W.L. — Variables affecting measurement of vertical occlusal forces. *J. Dent. Res.*, 65: 135-138, 1986.

Gola, R., Chossegras, C., Orthlieb, J.D. — Syndrome Algodysfonctionnel de l'Appareil Manducateur. Masson Edition, Paris, 1992.

Gysi, A. — Studies on the leverage problem of the mandibul. *Dent. Digest.*, 27: 144-203, 1921.

Lavigne, J. — Etude du mouvement d'ouverture mandibulaire en rétrusion. Thèse 2^e Cycle, Chirurgie-Dentaire, Lyon, 1972.

Linderholm, H., Wensström, A. — Isometric bite force and its relation to general muscle force and body build. *Acta Odontol. Scand.*, 28, 679-689, 1970.

Okajima, T. — A new method of calculating the biting force of patients using electromyography. *Tsurumi Shigku*, 12: 387-390, 1986.

Posselt, H. — Physiologie de l'Occlusion et Réhabilitation. *J. Prelat. Edition*, Paris, 1964.

Ramfjord, S.P., Ash, M.A. — Occlusion. *J. Prelat. Edition*, Paris, 1975.

Rouvière, H. — Anatomie Humaine Descriptive et Topographique. Masson Edition, Paris, 1967.

Van Eijden, T. — Jaw muscle activity in relation to the direction and point of application of bite force. *J. Dent. Res.*, 69: 901-905, 1990.

Corresponding author:

A. Dheyriat
Laboratoire d'Etude des Interfaces en Odontologie -
Faculté d'Odontologie
Rue Guillaume Paradin
69372 Lyon Cedex 08