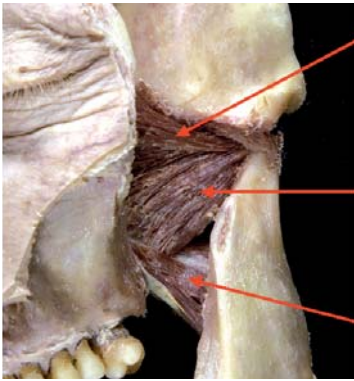


Le muscle ptérygoïdien latéral : approche anatomique et neurophysiologique.

Mots clés :

Muscle ptérygoïdien
Anatomie
Physiologie
Neurobiologie
Electromyographie



*Lateral pterygoid muscle :
anatomical and neurophysiological basis.*

Keywords :

Pterygoid muscle
Anatomy
Physiology
Neurobiology
Electromyography

Sophie DESMONS*, François GRAUX**, Philippe LIBERSA***, Pierre Hubert DUPAS****

* Assistant Hospitalo-universitaire, sous section de Prothèses.

** Maître de Conférences, sous section de Prothèses.

***Professeur des Universités, responsable de la sous section de Sciences Anatomiques.

****Professeur des Universités, sous section de Prothèses, Doyen de la Faculté de Lille.

r é s u m é
De part sa topographie, le muscle ptérygoïdien latéral est fortement sollicité au cours de la mastication. Il a donc un rôle important dans la genèse et l'entretien des dysfonctionnements craniomandibulaires. Un consensus basé sur les données embryologiques, histologiques et anatomiques conclut que le ptérygoïdien latéral est un muscle unique, de structure multipennée. La diversité des résultats électromyographiques décrit une physiologie complexe avec une contraction différente des faisceaux en fonction des mouvements masticateurs. La contraction séquentielle des faisceaux du ptérygoïdien latéral serait la résultante d'une activation neuronale sélective induite par un Générateur Central de Patron masticatoire (mCPG). Cette hypothèse neurophysiologique insiste sur le rôle primordial de la formation réticulaire dans le contrôle de l'activité des muscles masticateurs.

abstract
Based on its positional relationships, the lateral pterygoid muscle is strongly involved during mastication. It plays a major role in the craniomandibular disorders genesis and maintenance. Embryological, histological and anatomical information has defined the lateral pterygoid muscle as a single muscle with a penniform structure. Various results of electromyographic studies describe a complex physiology with a chronological contraction of different muscle bundles during masticatory movements. Contraction of the lateral pterygoid muscle bundles in a sequential pattern would be the resultant of a selective neuronal activation induced by the masticatory Central Pattern Generator (mCPG). This neurophysiological hypothesis highlights the essential role of the reticular formation in the control of masticatory muscles activity.

soumis pour publication le 27/03/06
accepté pour publication le 13/09/06



Le muscle ptérygoïdien latéral joue un rôle clé au sein de l'appareil manducateur. Ses insertions au niveau des différents composants de l'articulation temporo-mandibulaire l'impliquent directement dans la fonction articulaire. C'est pourquoi, il a fait l'objet de nombreuses études tant sur le plan anatomique que physiologique. Cependant, c'est un muscle difficile d'accès qui reste sujet à de nombreuses controverses. Les sources d'incertitude et de difficultés de compréhension sont nombreuses : originalité embryologique de l'entité temporo-mandibulaire, difficultés d'accès à ce muscle que ce soit anatomiquement, cliniquement ou encore électromyographiquement. Ainsi, les hypothèses concernant son anatomie et sa physiologie augmentent parallèlement à la fréquence des publications dont il fait l'objet. Les différentes théories embryologiques, anatomiques et physiologiques sont donc reprises au travers une revue de littérature. Puis, les données neurophysiologiques actuelles de la mastication sont développées et mettent en évidence le rôle primordial du contrôle neuromusculaire dans le mode d'activation des muscles masticateurs et en particulier du muscle ptérygoïdien latéral.

Données embryologiques et histologiques

Le ptérygoïdien latéral s'identifie à partir d'une condensation mésenchymateuse située entre les blastèmes condylien et temporal dès la 8ème semaine in utero. Ces deux blastèmes grandissent à la rencontre l'un de l'autre entre la septième et la onzième semaine in utero pour donner l'articulation temporo-mandibulaire (Larsen 2003).

Puis, parallèlement à la croissance du cartilage secondaire de la région condylienne, le ptérygoïdien latéral semble s'attacher sur la partie moyenne de l'ébauche du condyle entre la 10ème et la 12ème semaine (Loreille 1987).

Pour Gola et coll. (1992), la formation du condyle répond au muscle ptérygoïdien latéral : le condyle serait une apophyse d'insertion musculaire ayant acquis secondairement un rôle articulaire. La compression du tendon du muscle ptérygoïdien latéral entre les 2 surfaces articulaires lors des contraintes mécaniques manducatrices engendre la différenciation du disque.

Petrovic et coll. (1972) montre que le muscle ptérygoïdien latéral joue un rôle moteur dans la crois-

The lateral pterygoid muscle plays a key role in the masticatory system. The muscle insertions at different components of the temporomandibular joint directly involve this muscle in the articular function. It has thus been a subject of numerous studies on both anatomical and physiological aspects. However, an access to the muscle is difficult and remains controversial. Different sources of uncertainty and dilemma in understanding this muscle are the embryologic origin of the temporo-mandibular entity and difficulties of access to the muscle anatomically, clinically or even electromyographically. Therefore, the frequency of publications and hypothesis regarding its anatomy and physiology has increased in parallel concerning this subject. Different embryological, anatomical and physiological theories will be thus recapitulated through a literature review. Then, recent neurophysiological data have demonstrated the essential role of the neuromuscular control in activating masticatory muscles and in particular the lateral pterygoid muscles.

Embryological and histological data

The lateral pterygoid is identified as a mesenchymatous condensation situated between the condylar and temporal blastemes from the 8th week in utero. These two blastemes grow to meet each other between the 7th and 11th week in utero giving rise to the temporo-mandibular joints (Larsen 2003).

In parallel to secondary cartilage growth of the condylar region, the lateral pterygoid seems to attach to the middle part of the condylar primordium between the 10th and 12th week (Loreille 1987).

According to Gola et al. (1992), the condyle is formed in response to the lateral pterygoid. The condyle would be an apophysis for muscular insertion and secondarily acquires an articular role. The compression of the lateral pterygoid tendon between 2 articular surfaces during mechanical constraints of the masticatory system engenders the differentiation of the disc.

Petrovic et al. (1972) demonstrated that the lateral pterygoid plays a driving role in the condylar cartila-



sance du cartilage condylien. Ainsi, la croissance mandibulaire est occluso-adaptative grâce à ses condyles et aux ptérygoïdiens latéraux.

Le muscle ptérygoïdien latéral et l'appareil disco-capsulaire ont donc une origine commune et simultanée. Il est un véritable « moteur » de la croissance du condyle mandibulaire et participe à la maturation du complexe articulaire.

Des études histologiques confirment l'intrication des fibres musculaires ptérygoïdiennes avec le disque. L'attache tendineuse du muscle est en continuité histologique avec le disque. Plus précisément, les fibres tendineuses sont dans la prolongation des fibres élastiques du disque. Cependant, cette attache musculaire sur le disque représente moins de 5 % de la surface d'insertion du muscle sur l'articulation (Bravetti 2004).

Ce muscle ne peut donc pas être séparé en deux muscles indépendants si l'on se fonde sur ses origines embryologiques.

Données anatomiques

Morphologiquement comme physiologiquement, le ptérygoïdien latéral est un muscle unique et complexe.

1^{ère} théorie : un muscle constitué de 2 faisceaux distincts

(Paturet 1964 ; Rouvière et Delmas, 1991)

Le muscle ptérygoïdien latéral est généralement décrit comme un muscle composé de 2 chefs (**Fig. 1**) : un chef supérieur (chef sphénoïdal) et un chef inférieur (chef ptérygoïdien) à actions antagonistes. Ces deux chefs se distinguent par leurs insertions antérieures. Les premières descriptions anatomiques du ptérygoïdien latéral proposent :

Chef inférieur

- Origine : le chef inférieur s'insère sur les deux tiers inférieurs de la face externe de l'aile externe de l'apophyse ptérygoïde, sur le versant externe de l'apophyse pyra-

ge growth. The mandibular growth is thus occluso-adaptive owing to the condyles and the lateral pterygoids.

The lateral pterygoid and the disc/capsule complex thus have a common and simultaneous origin. This muscle is considered to be a real "engine" for the mandibular condyle growth and participates in the articular complex maturation.

The intricacy between the lateral pterygoid muscular fibers and the articular disc has been confirmed by histological studies demonstrating a continuation of the tendon attachment of the muscle and the disc. More precisely, the tendon fibers are in continuation with the elastic fibers of the disc. However, this muscular attachment on the disc represents less than 5 % of the muscular insertion surface on the articulation (Bravetti 2004).

This muscle thus cannot be separated into two independent muscles based on its embryologic origin.

Anatomical data

Morphologically and physiologically, the lateral pterygoid is a unique and complex muscle.

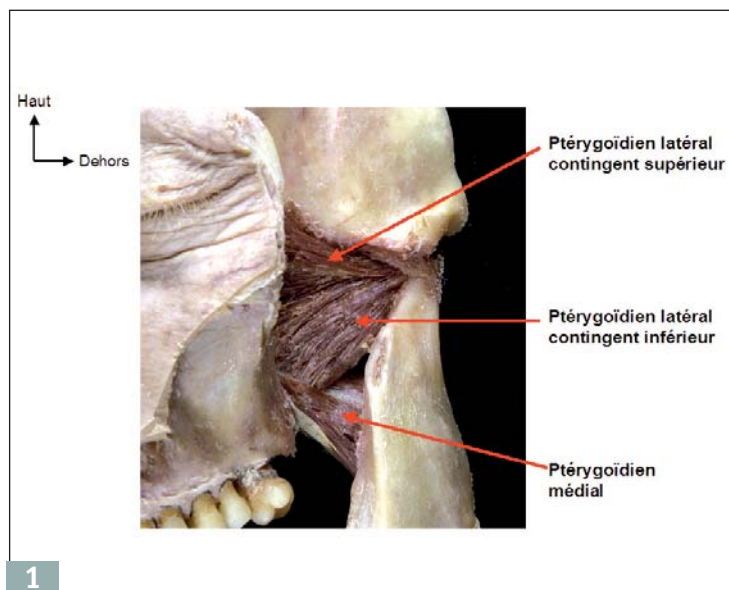
1st theory : a muscle composed of 2 distinct heads

(Paturet 1964 ; Rouvière and Delmas, 1991)

The lateral pterygoid is generally described as a muscle composed of 2 heads (**Fig. 1**) : a superior (sphenoïdal) and an inferior (pterygoid) head with antagonistic action. These two heads are distinguished by their anterior insertions. The first anatomical descriptions of the lateral pterygoid muscle have been proposed :

Inferior head

- Origin : the inferior head inserts on lower two-thirds of the external surface of the pterygoid apophysis external wing, on the external slope of the pyramidal

**Fig. 1 :**

Dissection du muscle ptérygoïdien latéral réalisée par V. Florent et E. Rose (Laboratoire d'Anatomie, Faculté de Médecine, Lille).

Dissection of the lateral pterygoid muscle performed by V. Florent and E. Rose (Laboratoire d'Anatomie, Faculté de Médecine, Lille).

midale de l'os palatin et sur une partie de la tubérosité du maxillaire supérieur contiguë à cette apophyse.

- **Terminaison :** le chef inférieur s'insère au niveau de la fossette ptérygoïdienne du col mandibulaire. Cette fossette se situe sur la partie antéro-interne du col, en avant et en dehors du tubercule condylien interne.

Les fibres de ce chef sont donc dirigées vers le haut, le dehors et l'arrière.

Chef supérieur

- **Origine :** le chef supérieur se fixe sur la face infratemporal de la grande aile du sphénoïde et plus exactement sur le tubercule sphénoïdal, la crête temporale du sphénoïde, et la face supéro-externe de l'aile externe de l'apophyse ptérygoïde.
- **Terminaison :** on retrouve une insertion au niveau interne du bord antérieur du disque articulaire et sur le tiers supérieur de la fossette ptérygoïdienne, face antérieure du col du condyle.

La direction de ses fibres est donc horizontale vers l'arrière et le dehors.

Paturet (1964) ainsi que Rouvière et Delmas (1991) ont défini deux chefs dont les corps sont totalement distincts tout au long de leurs trajets. Cependant, cette description anatomique reste sujette à controverse.

apophysis of the palatine bone and on a part of the upper maxilla tuberosity akin to this apophysis.

- **Ending :** the inferior head inserts into the pterygoid fossa of the mandibular neck. This fossa is situated on the antero-internal part of the neck, anterior and outside the internal condylar tubercle.

The fibers of this head are thus directed upward, outward and backward.

Superior head

- **Origin :** the superior head fixes on the infratemporal surface of the great wing of the sphenoid bone and more exactly on the sphenoidal tubercle, the temporal crest of the sphenoid bone, and the supero-external surface of the external wing of the pterygoid apophysis.
- **Ending :** an insertion can be found inside the anterior border of the articular disc and on the superior third of the pterygoid fossa, the anterior surface of the condylar neck.

The direction of the fibers is thus in a horizontal plane, backward and outward.

Paturet (1964) and Rouvière and Delmas (1991) have defined two heads with their completely distinct bodies throughout their paths. However, this anatomical description remains subject to controversy.



Lors d'une revue de littérature, Bertilsson et Storm (1995) ont proposé une classification des variations anatomiques observées par les différents auteurs :

- insertion uniquement discale pour certains
- insertion uniquement condylienne pour d'autres
- ou encore, insertion mixte : discale et condylienne.

Un consensus s'impose : une partie du chef supérieur s'insère sur le disque, seul le nombre de fibres varie. L'ensemble disque, capsule, muscle présente une adhésion ferme et constitue ainsi une réelle unité fonctionnelle (Bertilsson et Storm, 1995).

Même si le modèle de 2 chefs musculaires est communément retenu, dernièrement cette particularité anatomique est à nouveau remise en question.

2nd théorie : un corps musculaire unique multipenné (Gaudy 2003)

Gaudy propose un point de vue différent de l'organisation architecturale du muscle ptérygoïdien latéral. Il décrit un muscle ptérygoïdien latéral unique de structure multipennée, composée de 8 couches musculo-aponévrotiques alternées avec des dédoublements terminaux. Cette apposition de 8 lames penniformes est divisée par le pédicule artériel (artère maxillaire et ses branches) en deux contingents sur la portion terminale du muscle. Un contingent rectangulaire et plat dans le sens horizontal, est constitué des deux couches musculo-aponévrotiques allant du disque vers la base du crâne passant à proximité du condyle temporal. Ce dernier jouerait un rôle de poulie lors de la contraction des fibres augmentant ainsi la force déployée pour mobiliser le disque articulaire. Le second contingent unit la tête condylienne mandibulaire à la face latérale de l'aile latérale du processus ptérygoïde. Il représente 80 % des fibres musculaires. Sa forme générale est pyramidale à sommet situé au niveau condylien, sa contraction mobilise donc la tête condylienne accompagnée de son disque dans un plan horizontal. Ce muscle constitue ainsi un support médial et antérieur du disque. Ces insertions serviraient de guide au glissement du disque articulaire pendant les phases fonctionnelles. Ainsi, Gaudy a décrit un corps musculaire unique et n'a retrouvé aucune distinction en 2 chefs ni en dissection, ni sur coupes anatomiques ni même sur coupes IRM. La séparation serait donc uniquement biomécanique due à l'orientation des fibres. Cette orientation différente des 2 contingents pourrait être à l'origine d'une variété de fonctions de ce muscle par activation sélective de ces couches (Van Eijden 1995).

Through a review of the literature, Bertilsson and Storm (1995) have proposed a classification of the anatomical variations observed by various authors :

- insertion uniquely to the disc for some
- insertion uniquely to the condyle for others
- or even, mixed insertion to the disc and the condyle.

A consensus has been made that one part of the superior head inserts on the disc but only the number of fibers varies. The complex of disc, capsule and muscle presents a compact joining and thus constitutes a real functional unit (Bertilsson and Storm, 1995).

Even if the model of 2 muscular heads is commonly maintained, recently this anatomical particularity is again subject to question.

2nd theory : a penniform unique muscular body (Gaudy 2003)

Gaudy has proposed a different point of view on the architectural organization of the lateral pterygoid. He described this muscle as a unique muscle of multipennate structure, composed of 8 musculo-aponeurotic layers alternated with terminal splitting. This apposition of 8 penniforms layers is divided by the arterial peduncle (maxillary artery and its branches) into two groups on the terminal part of the muscle. A rectangle and flat group in the horizontal direction, consists of two musculo-aponeurotic layers directing from the disc towards the base of the skull passing near the temporal condyle. This latter would play a role of pulley during the fibers contraction resulting in an increased force distributing to mobilize the articular disc. The second group unites the mandibular condylar head to the lateral surface of the lateral wing of the pterygoid process. It represents 80 % of the muscular fibers. Its general shape is pyramidal with the summit situated at the condyle, its contraction thus mobilizes the condylar head accompanied with its disc in a horizontal plane. This muscle so constitutes a medial and anterior support to the disc. These insertions would serve as a sliding guide of the articular disc during functional phases. Also, Gaudy described a unique muscular body and found no distinction in 2 heads upon autopsy, on neither anatomical nor MRI sections. The separation would thus be purely biomechanical due to fiber orientation. This different orientation of these 2 groups could contribute to a variety of functions of this muscle by selective activation of these layers (Van Eijden 1995).

2

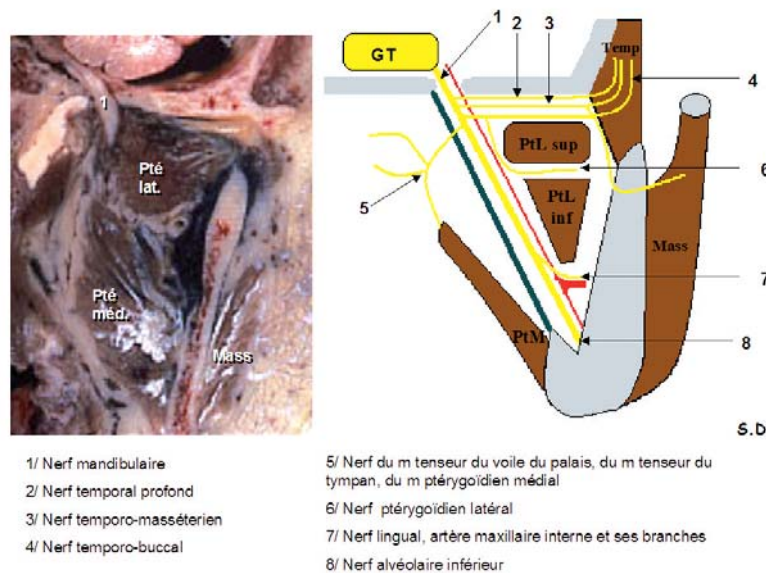


Fig. 2 : Coupe anatomique frontale et schéma de distribution classique du nerf mandibulaire et de ses branches en relation avec le muscle ptérygoïdien latéral (Laboratoire d'Anatomie, Faculté de Médecine, Lille).

Frontal anatomical section and schema of classic distribution of the mandibular nerve and its branches in relation to the lateral pterygoid muscle (Laboratoire d'Anatomie, Faculté de Médecine, Lille).

3^{ème} théorie :

2 faisceaux innervés par des filets nerveux distincts

Anatomiquement, le nerf mandibulaire et le muscle ptérygoïdien latéral sont en étroite relation. Le tronc mandibulaire se situe en dedans du muscle, puis il se divise. Ses branches temporales et buccales se dirigent alors vers des plans plus superficiels à proximité des fibres musculaires ptérygoïdiennes (**Fig. 2**). Classiquement, le muscle ptérygoïdien latéral est innervé par le nerf ptérygoïdien latéral, collatéral du tronc temporo-buccal issu du nerf mandibulaire (V3).

Kim et coll. (2003) ont étudié la distribution topographique des branches du nerf mandibulaire par rapport au muscle ptérygoïdien latéral sur 24 dissections. Ils concluent que le muscle ptérygoïdien latéral est innervé par le nerf mandibulaire et/ou ses branches selon des schémas très variables. Ils ont observé une innervation différente selon les deux faisceaux du mus-

3rd theory :

2 muscular bundles innervated by different nerve fibers

Anatomically, the mandibular nerve and the lateral pterygoid are in close relation. The mandibular nerve trunk is situated inside the muscle and then divides. Its temporal and buccal branches course to more superficial planes near the pterygoid muscle fibers (**Fig. 2**). Classically, the lateral pterygoid is innervated by the lateral pterygoid nerve, collateral to the temporo-buccal trunk stemming from the mandibular nerve (V3).

Kim et al. (2003) have studied the topographic distribution of the mandibular nerve branches with regard to the lateral pterygoid on 24 autopsies. They concluded that the lateral pterygoid is innervated by the mandibular nerve and/or its branches with highly variable schemes. A different innervation was observed depending on the two heads of the lateral pterygoid. In

cle ptérygoïdien latéral. Le nerf ptérygoïdien latéral innerve directement le faisceau supérieur dans 50 % des cas. Dans les autres cas, il est innervé de manière très variable par le nerf tempo-buccal ou encore directement par le tronc mandibulaire avant sa division. Contrairement aux descriptions couramment admises, le faisceau inférieur est innervé par des branches issues directement du V3 dans 58 % des cas et par le nerf ptérygoïdien latéral dans seulement 20 % des cas étudiés. Ils en conclurent la possibilité d'une innervation indépendante des deux faisceaux du muscle ptérygoïdien latéral bien que les filets nerveux soient issus du même tronc.

Données électromyographiques

La physiologie du muscle ptérygoïdien latéral a été le sujet de nombreuses études. S'il est généralement décrit comme un seul muscle avec deux activités antagonistes, le rôle de chacun de ses faisceaux lors des mouvements mandibulaires reste très controversé.

Ces variations de résultats peuvent s'expliquer par les différences observées dans la technique de mise en œuvre des enregistrements électromyographiques, par la sensibilité des électrodes utilisées et par la difficulté de leur mise en place dans ce muscle très fin. Un consensus admet que le chef inférieur est actif en propulsion, en ouverture buccale et lors des mouvements ipsilatéraux. Il agit en synergie avec les muscles sus-hyoïdiens, abaisseurs de la mandibule et reste passif lors des mouvements de fermeture (Delcambre 1995 ; Gibbs et coll., 1984 ; Juniper 1983 ; Mahan et coll., 1983 ; McNamara 1973).

La physiologie du chef supérieur reste sujette à controverse. Pour la majorité des auteurs, ce chef serait actif en fin de fermeture (serrage des dents), en rétro-pulsion et en latéralité travaillante et passif en ouverture buccale et en propulsion (Delcambre 1995 ; Gibbs et coll., 1984 ; Hiraba et coll., 1999 ; Mahan et coll., 1983 ; McNamara 1973).

Son rôle serait de stabiliser le condyle dans la fosse temporo-mandibulaire servant ainsi d'axe de rotation de la mandibule.

Cependant, Sessle et Murray (1982) ont conclu à l'inverse, que le chef supérieur est actif en ouverture, en propulsion et en latéralité non travaillante (Murray 1999).

50 % of the cases, the superior head is directly innervated by the lateral pterygoid nerve. In other cases, it is variably innervated by the temporobuccal nerve or even directly by the mandibular trunk before its division. Contrary to the usually accepted descriptions, the inferior head is innervated by the branches directly stemming from V3 in 58 % of the studied cases and by the lateral pterygoid nerve in only 20 %. It is concluded that there is a possibility of an independent innervation of the two heads of the lateral pterygoid although the nerve fibers arise from the same trunk.

Electromyographic data

The physiology of the lateral pterygoid muscle was subject to several studies. Although it is generally described as a single muscle with two antagonistic activities, the role of each head during mandibular movements remains highly controversial.

These variations of results can be explained by the differences observed in the electromyographic recording technique, the sensitivity of the used electrodes and the difficulty of electrode placement in this delicate muscle. There is a consensus that the inferior head is active during protrusion, jaw opening and ipsilateral movements. It acts in synergy with the sub-hyoid muscles, depressors of the mandible, and remains passive during jaw closing movements (Delcambre 1995 ; Gibbs et al., 1984 ; Juniper 1983 ; Mahan et al., 1983 ; McNamara 1973).

The physiology of the superior head remains subject to controversy. For most authors, this head may be active at the end of jaw closing (teeth tightening), during mandible retrusion and lateral movement and be passive during jaw opening and protrusion (Delcambre 1995 ; Gibbs et al., 1984 ; Hiraba et al., 1999 ; Mahan et al., 1983 ; McNamara 1973).

Its role would be to stabilize the condyle in the temporo-mandibular fossa thus serving as a rotation axis of the mandible.

However, Sessle and Murray (1982) had a contrary conclusion that the superior head is active during jaw opening, mandible protrusion and non-working lateral movement (Murray et al., 1999).

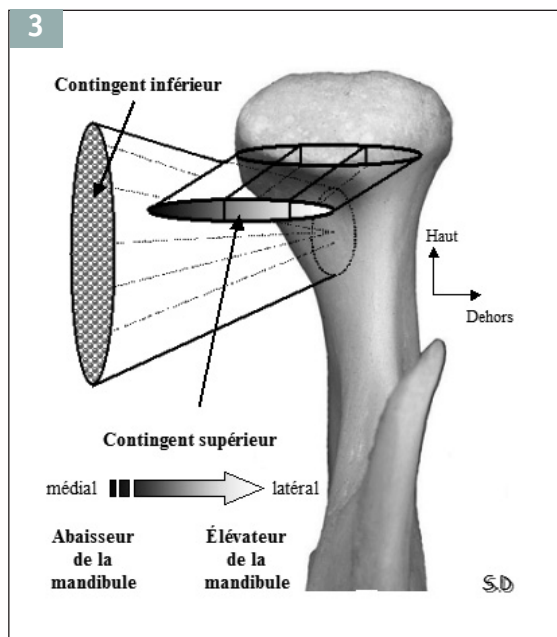


Fig. 3 :
Schématisation des insertions du ptérygoïdien latéral sur le condyle gauche.
Activité différente des fibres du contingent supérieur de médial en latéral.

*Illustration of the lateral pterygoid insertions onto the condyle.
Different activity of fibers of superior group from medial to lateral.*

Lors de ses travaux, Juniper (1981, 1983) a observé une activation indépendante des deux faisceaux du ptérygoïdien latéral chez les patients sains. Il suggère une activité fonctionnelle antagoniste. Pour lui, le chef supérieur stabilise le complexe disco-condylien en le plaquant sur l'éminence articulaire lors des mouvements de fermeture. Il a également un rôle de maintien des structures articulaires en position de repos. Le chef inférieur guide le condyle lors des mouvements d'ouverture et de propulsion.

En 2004, Murray et coll. ont proposé une nouvelle conception des fonctions du muscle ptérygoïdien latéral. Ils ont réalisé une étude électromyographique sur 18 sujets sains. La position de l'électrode dans le muscle ptérygoïdien latéral est contrôlée par coupes scannographiques. Ils ont observé une activité du faisceau inférieur en synergie avec les muscles abaisseurs de la mandibule comme cela est couramment admis. Mais leurs résultats divergent du consensus en ce qui concerne le faisceau supérieur. Son principal rôle serait le maintien du disque sur le condyle dans le plan horizontal. Ils distinguent 3 zones fonctionnelles au sein de ce même faisceau (**Fig. 3**) :

- une zone médiale aurait la même activité que le faisceau inférieur. Elle serait donc assimilée à un muscle abaisseur de la mandibule (ouverture, propulsion et latéralité non travaillante),
- une zone latérale serait active en fermeture, rétro-pulsion et latéralité travaillante comme un muscle élévateur de la mandibule,
- une zone intermédiaire aurait une activité mixte.

Juniper (1981, 1983) observed an independent activation of these two heads of the lateral pterygoid in healthy patients thus suggesting an antagonistic functional activity. For him, the superior head stabilizes the disc-condyle complex by pressing the complex on the articular eminence during jaw closing movements. It also has a maintaining role of the articular structures in resting position. The inferior head guides the condyle during jaw opening and protrusion movements.

In 2004, Murray et al. proposed a new concept of the lateral pterygoid functions. They performed an electromyographic study on 18 healthy subjects. The electrode's position in the lateral pterygoid is controlled by scannographic sections. An activity of the inferior head in synergy with depressor muscles of the mandible as usually accepted was observed. But their results are different from the consensus regarding the superior head in that its main role would be to maintain the disc on the condyle in the horizontal plane. Three functional zones have been distinguished within the same superior head (**Fig. 3**) :

- a medial zone would have the same activity as the inferior head. It would thus be similar to a depressor muscle of the mandible (jaw opening, protrusion and non-working lateral movement),
- a lateral zone would be active in jaw closing, retrusion and working lateral movement as an elevator muscle of the mandible,
- an intermediate zone would have a mixed activity.

Ainsi, chez un sujet sain, les deux faisceaux seraient inactifs quand la mandibule est en position de repos. Mais ils auraient un rôle déterminant lors du déplacement du condyle et de son disque selon un plan horizontal. Par analogie au muscle temporal, ils décrivent ainsi un éventail de fibres musculaires dont l'activité évolue d'un rôle abaisseur vers une activité élévatrice de médial en latéral. Celles-ci pourraient être activées sélectivement par le cerveau (Phanachet et coll., 2003).

Neurobiologie de la mastication

Physiologiquement comme morphologiquement, le muscle ptérygoïdien latéral est donc un muscle unique constitué de différents faisceaux ayant une activité propre. Une activation cérébrale sélective de chacun de ces faisceaux semble aujourd'hui être l'une des explications plausibles. C'est pourquoi nous nous sommes penchés sur le contrôle neurologique des mouvements masticatoires (Dupas et coll., 2003).

Rappels neuroanatomiques (Bossy 1990)

Un rappel neuroanatomique des différents éléments entrant en jeu dans le contrôle des mouvements mandibulaires nous permettra ensuite d'aborder la neurophysiologie du système masticatoire.

Les articulations temporo-mandibulaires ont une particularité : elles sont siamoises et couplées entre elles. Cette situation anatomique nécessite un contrôle neurologique performant et puissamment organisé. Ce contrôle se fait par l'intermédiaire du cortex cérébral, des aires sous corticales (système limbique et réticulaire) et des motoneurones du ganglion trigéminal (neurones en connexion directe avec les fibres musculaires).

Le système limbique

Situé au centre du cerveau, le système limbique regroupe un ensemble de structures diversifiées. Il reçoit des informations en provenance des différents systèmes de réception sensoriels. Il établit des

In a healthy subject, the two heads would thus be inactive when the mandible is in resting position. But they would have a crucial role during the condyle-disc movement in a horizontal plane. By analogy to the temporalis muscle, a range of muscular fibers with a range of activities evolving from a depressor towards an elevator, from medial to lateral has been described. These fibers could be selectively activated by the brain (Phanachet et al., 2003).

Neurobiology of the mastication

Physiologically as morphologically, the lateral pterygoid is thus a unique muscle consisted of various bundles possessing their own activity. A selective cerebral activation of each of these bundles presently seems to be one of the plausible explanations. The neurological control of the masticatory movements has therefore been a subject of interest (Dupas et al., 2003).

Neuroanatomical review (Bossy 1990)

A neuroanatomical review of various elements participating in the control of mandibular movements will allow us to understand the neurophysiology of the masticatory system.

The temporo-mandibular joints have a special characteristic in that they are identical and paired to each other. This anatomical situation requires an efficient and powerfully organized neurological control. This control is done through the cerebral cortex, the subcortical areas (limbic and reticular system) and motoneurons of the trigeminal ganglion (neurons in direct connection with the muscular fibers).

Limbic system

Situated in the center of the brain, the limbic system includes a set of diversified structures. It receives informations from various sensory systems of reception. Since the limbic system establishes connections with the

connexions avec le diencephale (thalamus, hypothalamus) et le mésencéphale (formation réticulaire) ce qui lui permet de participer au contrôle des comportements émotionnels et motivationnels.

Le système réticulaire

Le système réticulaire assure un rôle d'amplificateur des perceptions et un contrôle gradué de l'éveil et de la vigilance. Il est sous l'influence du système limbique. Deux régions de la formation réticulaire ont une action sur la motricité : la formation réticulaire excitatrice (FRE) et la formation réticulaire inhibitrice (FRI). Ces deux régions ont une action qualifiée de « descendante » car elles reçoivent des informations de structures nerveuses centrales (par exemple, du cortex cérébral ou de l'hypothalamus) et ont une action sur le système moteur :

- La FRE est formée de neurones constituant le faisceau réticulo-spinal médian. Ce faisceau aboutit principalement sur les motoneurons de la musculature axiale du cou, du tronc et des muscles extenseurs des membres. Cette formation réticulaire constitue un grand système activateur.
- La FRI est définie par les axones constituant le faisceau réticulo-spinal latéral. Elle constitue le grand système inhibiteur agissant sur les muscles extenseurs du cou, du tronc, des membres sur les muscles fléchisseurs antagonistes.

Le ganglion trigéminal

Anatomiquement, le ganglion trigéminal est situé entre les deux régions de la formation réticulaire : la FRE est au dessus de son émergence et la FRI se trouve en dessous (Guyton 1991). Des connexions anatomiques entre le système limbique et le ganglion trigéminal passant par la formation réticulaire ont été décrites (Kahle et coll., 1992). Le nerf trijumeau (Vème paires des nerfs crâniens) émerge du ganglion trigéminal, sa branche inférieure constitue le nerf mandibulaire (V3). Ce nerf est dit complet car il a des efférences sensitives, motrices et sensorielles.

Neurophysiologie

Lund (1991) et Nakamura et Katakura (1995) reprenant les différents éléments anatomiques précédemment exposés ont proposé une cartographie des aires neuronales impliquées dans la mastication appelée « masticatory Central Pattern Generator » (mCPG).

diencephalon (thalamus and hypothalamus) and the mesencephalon or midbrain (reticular formation), it participates in the control of emotional and motivational behavior.

Reticular system

The reticular system assures an amplifying role of perceptions and a gradual control of arousal and attentiveness. It is under the influence of the limbic system. Two regions of the reticular formation are the excitatory reticular formation (ERF) and the inhibitory reticular formation (IRF). They have a so-called "descending" action on the motor system since they receive information from central nervous structures (for example, from the cerebral cortex or the hypothalamus) :

- The ERF is formed by neurons constituting the medial reticulo-spinal bundle. This bundle mainly reaches motoneurons of the neck's axial musculature, the trunk and limbs' extensor muscles. This reticular formation constitutes a large activating system.
- The IRF is defined by the axons constituting the lateral reticulo-spinal bundle. It constitutes the major inhibitory system acting on extensor muscles of the neck and the trunk and on antagonistic flexor muscles of the limbs.

Trigeminal ganglion

Anatomically, the trigeminal ganglion is situated between both regions of the reticular formation with the ERF above and the IRF below its emergence (Guyton 1991). Anatomical connections between the limbic system and the trigeminal ganglion through the reticular formation have been described (Kahle et al., 1992). The trigeminal nerve (the Vth pair of the cranial nerves) appears from the trigeminal ganglion, with its inferior branch as the mandibular nerve (V3). This nerve is said to be complete because it possesses sensitive, motor and sensory efferents.

Neurophysiology

Lund (1991) and Nakamura and Katakura (1995), by reconsidering the previously explained various anatomical elements, have proposed a cartography of the neuronal areas involved in the mastication called « masticatory Central Pattern Generator » (mCPG).

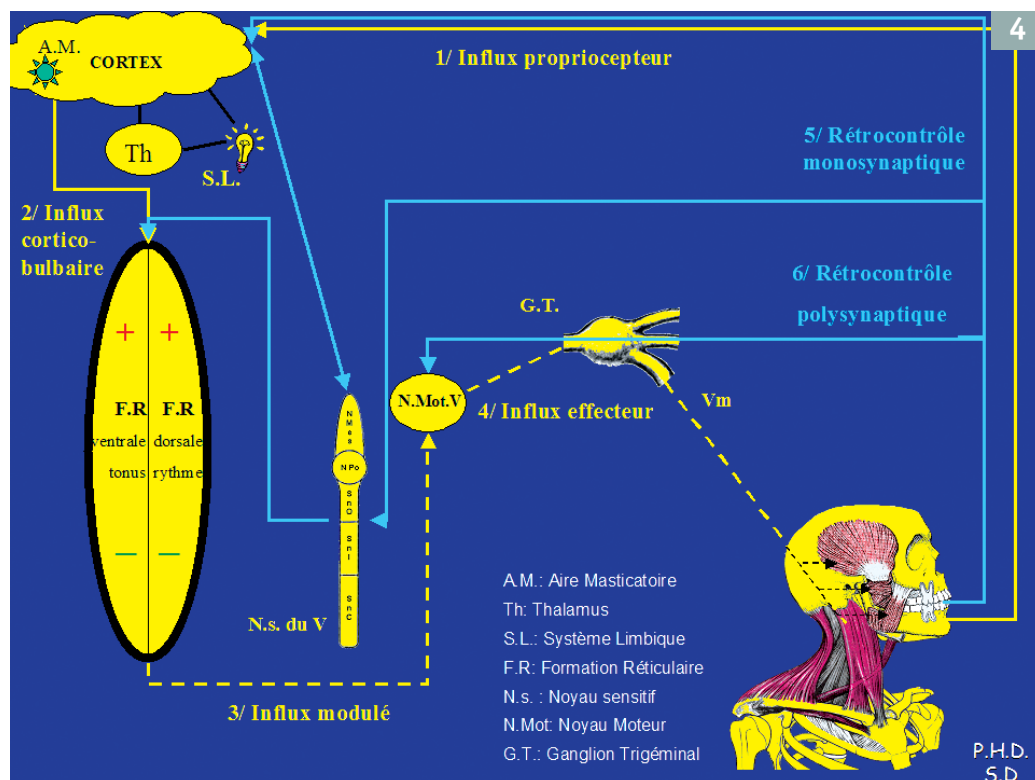


Fig. 4 : Modèle de fonctionnement du Générateur Central de Patron masticatoire (mCPG).

Functioning model of the masticatory Central Pattern Generator (mCPG).

Un Générateur Central de Patron (CPG) est défini comme un réseau de neurones impliqué dans la création d'un type de mouvement particulier et précisément défini. Le CPG est l'ensemble des structures neuronales qui activent les motoneurons dans un ordre approprié afin de générer un mouvement. Il est capable de fonctionner indépendamment des structures corticales ; cependant, ces dernières conservent un contrôle prioritaire en cas de besoin. Trois CPG sont actuellement décrits : locomoteur, masticatoire et respiratoire. Ils semblent être capables de produire quatre types de potentiels effecteurs : l'inhibition tonique, l'excitation tonique, l'inhibition rythmique et l'excitation rythmique (Donga 1999).

L'hypothèse de fonctionnement du CPG masticatoire actuellement retenue est la suivante (Fig. 4) : une excitation des propriocepteurs intra-oraux engendre une activation corticale au niveau de l'aire masticatoire. Celle-ci est impliquée dans l'impulsion du mouvement de mastication. Un rythme de base est alors généré au niveau du tronc cérébral. Cet influx cortico-bulbaire est ensuite dirigé vers la formation réticulaire. A ce niveau, l'influx de base est modulé en fonction des conditions environnementales (taille du bol alimentai-

The Central Pattern Generator (CPG) is defined as a network of neurons involved in the generation of a particular and precisely defined movement. The CPG is a group of neuronal structures which activate motoneurons in an appropriate order to generate a movement. It is capable of functioning independently from the cortical structures. However, these latter preserve a priority control if necessary. Three CPGs are presently described as locomotive, masticatory and respiratory. They seem to be capable of producing four types of potential effectors: tonic inhibition and excitation, rhythmic inhibition and excitation (Donga 1999).

The present hypothesis of the masticatory CPG functioning is as following (Fig. 4) : an excitation of intra-oral proprioceptors engenders a cortical activation in the masticatory area. This area is involved in the mastication movement impulse. A basic rhythm is then generated in the cerebral trunk. This corticobulbar influx is then directed towards the reticular formation where the basic influx is modulated according to the environmental conditions such as food bolus size, temperature, consistency, etc. In the reticular formation, two types of



Fig. 5 : Modulation de l'influx nerveux au niveau de la formation réticulaire.

Modulation of nerve influx in the reticular formation.

re, température, consistance...). Au niveau de la formation réticulaire, deux types de modulations sont possibles : une modulation du rythme du mouvement assurée par la partie dorsale de la formation réticulaire (inhibition ou excitation) et une modulation de la tonicité des mouvements soumise à la partie ventrale de la formation réticulaire (inhibition ou excitation). Cet influx effecteur est dirigé sur les motoneurones du noyau moteur trigéminal, après un relais au niveau du ganglion trigéminal. Il y a alors production des mouvements mandibulaires. Les muscles masticateurs sont alors activés (Donga 1999). Puis les informations sensitives issues des propriocepteurs parodontaux, articulaires et musculaires induisent une régulation des mouvements mandibulaires par un rétrocontrôle monosynaptique cortical et polysynaptique sur chaque élément du CPG masticatoire.

La voie neuronale masticatoire est aujourd'hui bien décrite. Les influx entrant et sortant ont été caractérisés par expérimentation animale. Ainsi, chez plusieurs espèces, la stimulation de l'aire corticale masticatoire induit un influx nerveux cortical stéréotypé continu à une fréquence de 50Hz. Cet influx entre au niveau de la formation réticulaire où il est modulé en un influx complexe alternatif d'une fréquence d'environ 4Hz directement dirigé vers les motoneurones des muscles masticateurs (**Fig. 5**) (Lund 1991). L'importance de la formation réticulaire a été soulignée par les travaux de Scott et coll. Après injection d'anesthésique ou d'excitateur au sein des structures neuronales, ils ont précisé que c'est l'information émise par la formation réticulaire qui régule le mouvement masticatoire et non pas l'influx cortical afférent (Scott 2003). Elle semble donc être un des piliers du contrôle moteur des muscles masticateurs. Cependant, le mode de fonctionnement de cette structure reste obscur, c'est pourquoi elle est souvent assimilée à une « boîte noire ».

modulations are possible : a modulation of the movement rhythm assured by the dorsal part of the reticular formation (inhibition or excitation) and a modulation of the movement tonicity by the ventral part of the reticular formation (inhibition or excitation). This effector influx is directed on the motoneurons of the trigeminal nucleus, after a relay in the trigeminal ganglion, mandibular movements are generated. The masticatory muscles are then activated (Donga 1999). Then, the sensory informations stemming from periodontal, articular and muscular proprioceptors lead to a regulation of the mandibular movements by cortical monosynaptic and polysynaptic retrocontrol on each element of the masticatory CPG.

The masticatory neuronal pathway is now well described. The inputs and outputs were characterized from animal experiments. In several species, the stimulation of the masticatory cortical area leads to a continuous stereotypical cortical influx with a frequency of 50Hz. This influx enters the reticular formation where it is modulated in an alternate complex influx of a frequency about 4Hz directly directed towards the motoneurons of the masticatory muscles (**Fig. 5**) (Lund 1991). The significance of the reticular formation was emphasized by the works of Scott and colleagues (2003). Following an injection of an anesthesia or an excitator inside the neuronal structures, the information emitted from the reticular formation was shown to regulate the masticatory movement and not the afferent cortical influx (Scott et al., 2003). It thus seems to be one of the fundamental principles for the motor control of masticatory muscles. However, the functioning mode of this structure remains obscure and is often given an analogy to a "black box".

Discussion

Le muscle ptérygoïdien latéral semble donc être une entité embryologique, histologique et anatomique. Cependant, son rôle stabilisateur de l'articulation temporo-mandibulaire, diarthrose bicondylienne unique de l'organisme, lui confère une physiologie particulière. La coaptation du disque articulaire sur la tête condylienne dans tous les mouvements mandibulaires nécessite une contraction des fibres musculaires répondant à des impératifs biomécaniques précis. Face à cet impératif, de nombreux auteurs reconnaissent un rôle différent des fibres musculaires du ptérygoïdien latéral (Bertilsson et Strom, 1995).

Dernièrement, de récentes publications suggèrent une contraction chronologique des différents faisceaux musculaires (El Haddioui et coll., 2005 ; Kim et coll., 2003 ; Murray et coll., 2004 ; Sessle et Gurza, 1982). Selon les hypothèses neurobiologiques, il est plausible que la contraction séquentielle des faisceaux du muscle ptérygoïdien latéral soit en fait la résultante d'une activation neuronale sélective entièrement gérée au niveau du CPG masticatoire via la formation réticulaire.

Le rôle prépondérant de la formation réticulaire dans la gestion des mouvements complexes est actuellement étudié au niveau d'autres diarthroses. Ainsi, cette explication a déjà été proposée au niveau de l'épaule en particulier au niveau du deltoïde et du trapèze. Le deltoïde est un muscle triangulaire formé par trois faisceaux localisés sur le dessus de l'épaule. Ces trois faisceaux convergent vers la partie moyenne du bras pour se fixer sur la face externe de l'humérus.

Sur le plan fonctionnel, les faisceaux du deltoïde devraient être considérés comme des muscles distincts. L'action du faisceau antérieur est l'abduction frontale (antépulsion, élévation frontale) et la rotation interne du bras. Le faisceau moyen est abducteur latéral du bras. Le faisceau postérieur est abducteur postérieur du bras (rétropulsion) (Morris et coll., 2004). Ce muscle est innervé par un même nerf : le nerf axillaire. Ces faisceaux peuvent agir en synergie (ex: abduction) ou antagonisme (ex : flexion).

La réalisation de mouvements complexes tels que la circumduction est permise par la contraction chronologique des différents faisceaux, rendue possible par un schéma de stimulation neuronale précis. Cette activation « en vague » serait régulée par la formation

Discussion

The lateral pterygoid muscle thus seems to be an embryological, histological and anatomical entity. However, its stabilizing role on the temporo-mandibular joint, unique bicondylar synovial joint of the body, gives this muscle a particular physiology. The coaptation of the articular disc on the condyle head in all mandibular movements require a contraction of the muscular fibers responding to precise biomechanical imperatives. Facing these imperatives, several authors recognize a different role of muscular fibers of the lateral pterygoid (Bertilsson and Strom, 1995).

Recent publications suggest a chronological contraction of various muscle fibers (El Haddioui et al., 2005 ; Kim et al., 2003 ; Murray et al., 2004 ; Sessle and Gurza, 1982). According to the neurobiological hypotheses, it is plausible that the sequential contraction of the lateral pterygoid muscle bundles is in fact the resultant of a selective neuronal activation completely managed in the masticatory CPG via the reticular formation.

The dominating role of the reticular formation in the management of the complex movements is presently studied in other synovial joints. This explanation was therefore already proposed in the shoulder's joint musculature in particular in the deltoid and the trapezius. The deltoid is a triangular muscle formed by three bellies situated above the shoulder. These three bellies converge toward the middle part of the arm to insert on the external surface of the humerus.

Functionally, the deltoid bellies should be considered as three distinct muscles. The action of the anterior belly is frontal abduction (anteropulsion and frontal elevation) and internal rotation of the arm. The middle belly is a lateral abductor of the arm. The posterior belly is a posterior abductor of the arm (retropulsion) (Morris et al., 2004). This muscle is innervated by the same nerve : the axillary nerve. These bundles can act in synergy (ex : abduction) or antagonism (ex : flexion).

To perform complex movements such as circumduction, chronological contraction of different bundles is necessary and possible by a precise neuronal schema of stimulation. This « wave-like » activation would be regulated by the reticular formation. This particularity is



réticulaire. Cette particularité est également décrite pour le trapèze, formé de trois chefs à actions différentes et innervé par le nerf spinal. L'hypothèse de l'activation séquentielle des faisceaux est actuellement retenue.

Des études montrent que les influx issus de la formation réticulaire peuvent faciliter ou inhiber l'activité des muscles du membre supérieur chez le chat comme chez le primate. Au niveau d'un bras en préhension, la formation réticulaire module les influx vers une suppression des extenseurs et une facilitation des fléchisseurs, ceci même au niveau des différents faisceaux d'un même muscle. Ainsi, au niveau du trapèze, Davidson et Buford (2004) ont observé une facilitation du faisceau moyen et une inhibition du faisceau supérieur.

Il paraît alors également logique de penser que cette hypothèse puisse s'appliquer à la physiologie du muscle ptérygoïdien latéral qui comme le deltoïde joue un rôle prépondérant dans la stabilisation de l'articulation. Ceci pourrait être une explication possible aux variations de résultats des études électromyographiques réalisées sur ce muscle.

also described in the trapezius, formed by three bellies with different actions and innervated by the spinal nerve. The hypothesis of the sequential activation of the bellies is at present maintained.

Studies show that the influx stemming from the reticular formation can facilitate or inhibit the activity of the muscles of the upper limb in cat as in primate. During arm prehension, the reticular formation modulates influx towards a suppression of extensors and a facilitation of flexors even in different bellies of the same muscle. In trapezius, Davidson and Buford (2004) also observed a facilitation of the middle belly and an inhibition of the superior belly.

It seems also logical to think that this hypothesis can be applied to the physiology of the lateral pterygoid muscle which, like the deltoid, plays a dominating role in the stabilization of the joint. This could be a possible explanation for the variations of results of electromyographic studies performed on this muscle.

Conclusion

L'étude bibliographique nous a permis de faire le point sur les données acquises :

- l'étude embryologique et histologique montre que le muscle ptérygoïdien latéral et l'articulation ont une origine commune et simultanée. Il existe une véritable intrication entre le faisceau musculaire et le complexe disco-condylien.
- l'étude anatomique fait le point sur les attaches antérieures et postérieures du muscle, sur sa constitution et sa topographie.

Cependant, cette mise au point conclut également qu'il n'existe toujours pas à l'heure actuelle de consensus ni morphologique, ni physiologique (Bertilsson et Strom, 1995).

Il semble alors plausible que l'activation séquentielle des faisceaux du muscle ptérygoïdien latéral soit générée par une activation neuronale sélective. Ainsi, on ne distingue donc pas de faisceaux à activité antagoniste, mais un muscle multipenné constitué de huit faisceaux répartis en deux contingents selon la direction des fibres musculaires. Une activation neuronale sélective pourrait contracter ces faisceaux indépendamment les uns des autres afin d'adapter la position du condyle mandibulaire et de son disque à la fonction manducatrice. En effet, cette activation se ferait par l'intermédiaire de motoneurons issus du ganglion trigéminal lui-même activé par le CPG masticatoire. Si le fonctionnement de la formation réticulaire reste obscur, cette structure agit sur le rythme et la tonicité des contractions musculaires. De plus, il a été montré qu'un stress émotionnel induit son activation engendrant ainsi des mouvements mandibulaires parafunctionnels. Or, en présence d'un stress prolongé, une hyperactivation du CPG pourrait engendrer des défauts de transmission de l'influx nerveux et donc des erreurs lors de la modulation du rythme et de la tonicité des contractions musculaires fréquemment observés lors des désordres temporo-mandibulaires.



The bibliographical study allowed us to review the acquired data :

- The embryological and histological studies show that the lateral pterygoid and the joint have a common and simultaneous origin. There is a real intricacy between the muscle bundles and the disc-condyle complex.
- The anatomical study provides an information on the anterior and posterior attachments of the muscle, its constitution and its topography.

However, there is still at the moment no consensus either on morphological or physiological aspect (Bertilsson and Strom, 1995).

It seems then plausible that the sequential activation of the lateral pterygoid muscle bundles is generated by a selective neuronal activation. This muscle cannot be distinguished by their antagonistic activity of different bundles, but as a multipennate muscle constituted, by eight bundles distributed in two groups according to the muscular fiber direction. A selective neuronal activation could activate a contraction of these bundles independently from one to another in order to adapt the mandibular condyle and its disc position during masticatory functions. Indeed, this activation would be generated through motoneurons stemming from the trigeminal ganglion activated by the masticatory CPG. Although the function of the reticular formation remains obscure, this structure acts on the rhythm and the tonicity of muscular contractions. Furthermore, it has been shown that emotional stress can induce its activation thus engendering parafunctional mandibular movements. Now, in a presence of prolonged stress, a hyperactivation of the CPG could engender defects of influx transmission and thus errors during the modulation of the rhythm and the tonicity of muscular contractions frequently observed during temporo-mandibular disorders.

*Les auteurs remercient les Dr Vincent Florent et Edouard Rose
pour leurs participations à l'illustration de ce travail*

*The authors would like to thank Drs. Vincent Florent and Edouard Rose
for their participation to the illustration of this work.*

Traduction : Ngampis SIX

Demande de tirés-à-part :

Sophie DESMONS - Faculté de Chirurgie Dentaire - 1, place de Verdun - 59000 Lille.

- BERTILSSON O., STROM D.
A literature survey of a hundred years of anatomic and functional lateral pterygoid muscle research. *J Orofac Pain* 1995;**9**(1):17-23.
- BOSSY J. Anatomie Clinique- Neuro-anatomie. Ed: Springer-Verlag 1990, Paris.
- BRAVETTI P., MEMBRE H., HADDIOUI A. E., GERARD H., FYARD J. P., MAHLER P., GAUDY J. F.. Histological study of the human temporo-mandibular joint and its surrounding muscles. *Surg Radiol Anat* 2004;**26**(5):371-378.
- DAVIDSON A. G., BUFORD J. A.
Motor outputs from the primate reticular formation to shoulder muscles as revealed by stimulus-triggered averaging. *J Neurophys* 2004;**92**(1):83-95.
- DELCAMBRE T.
Electromyographie des muscles ptérygoïdiens latéraux associée à une perte de dimension verticale. *Actualités Odont stomat* 1995;**192**:517-529.
- DONGA R
Are trigeminal premotor interneurons part of the masticatory central pattern generator ? in Neurobiology of mastication- from molecular to systems approach, Y. a. S. Nakamura, B.J. 1999, Elsevier Science.
- DUPAS P., GRAUX F., PICART B.
Mise au point "posturale". Stratégie prothétique 2003;**3**(2):155-159.
- EL HADDIOUI A. L., ZOUAOUI F., BRAVETTI P., GAUDY J.F.
Functional anatomy of the human lateral pterygoid muscle. *Surg Radio Anat* 2005;**27**:271-286.
- GAUDY J. F. Anatomie Clinique. Collection JPIO, Ed: CdP 2003, Rueil-Malmaison.
- GIBBS C. H., MAHAN P. E., WILKINSON T. M., MAUDERLI A.
EMG activity of the superior belly of the lateral pterygoid muscle in relation to other jaw muscles. *J prosth Dent* 1984;**51**(5):691-702.
- GOLA R., CHOSSEGROS C. ORTHLIEB J.D.
Appareil discal de l'articulation temporo-mandibulaire. *Rev Stomat Chir Maxil* 1992;**93**(4):236-295.
- GUYTON A.
Basic neuroscience anatoy and physiology. 1991, Ed: Saunders Comp Philadelphia: WB.
- HIRABA K., HIBINO K., HIRANUMA K., NEGORO T.
Stretch reflex-like response in superior head of he human lateral pterygoid muscle., in Neurobiology of mastication - from molecular to systems approach, Ed: Y. a. S. Nakamura B.J. 1999, Elsevier Science.
- JUNIPER R. P.
Electromyography of the two heads of external pterygoid muscle via the intra-oral route. *Electromyo Clin Neurophys* 1983;**23**(1-2):21-33.
- JUNIPER R. P. The superior pterygoid muscle? *Brit J Oral Surg* 1981;**19**(2):121-128.
- KAHLE W., LEONHARDT H., PLATZER W.
Anatomie. Système nerveux. Ed: Flammarion Médecine-sciences 1992, Paris.
- KIM H. J, KWAK H. H., HU K. S., PARK H. D., KABG H. C., JUNG H. S., KOH K. S.
Topographic anatomy of the mandibular nerve branches distributed on the two heads of the lateral pterygoid. *Int J Oral Maxill Surg* 2003;**32**(4):408-413.
- LARSEN Embryologie humaine. Ed: De Boeck 2003.
- LOREILLE
Embryogénèse de l'articulation temporo-mandibulaire. *Rev Orthop Dento Fac* 1987;**21**:355-362.
- LUND J. P.
Mastication and its control by the brain stem. *Crit Rev Oral Biol Med* 1991;**2**(1):33-64.
- MAHAN P. E., WILKINSON T. M., GIBBS C. H., MAUDERLI A., BRANNON L. S.
Superior and inferior bellies of the lateral pterygoid muscle EMG activity at basic jaw positions. *J Prosth Dent* 1983;**50**(5):710-718.
- McNAMARA J. A., Jr.
The independent functions of the two heads of the lateral pterygoid muscle. *Amer J Anat*, 1973;**138**(2):197-205.
- MORRIS A. D., KEMP G. J., FROSTICK S. P.
Shoulder electromyography in multidirectional instability. *J Should Elb Surg*, 2004;**13**(1):24-29.
- MURRAY G. M., PHANACHET I., KLINEBERG I. J.
Electromyographic evidence for functional heterogeneity in the inferior head of the human lateral pterygoid muscle: a preliminary multi-unit study. *Clin Neurophys* 1999;**10**(5):944-950.
- MURRAY G. M., PHANACHET I., UCHIDA S., WHITTLE T.
The human lateral pterygoid muscle: a review of some experimental aspects and possible clinical relevance. *Aust Dent J* 2004;**49**(1):2-8.
- NAKAMURA Y., KATAKURA, N.
Generation of masticatory rhythm in the brainstem. *Neurosci Res* 1995;**23**(1):1-19.
- PATURET G.
Traité d'anatomie humaine. Ed: Masson 1964: Paris.
- PETROVIC A. G.
Le muscle ptérygoïdien externe et la croissance du condyle mandibulaire. Recherches expérimentales chez le jeune rat. *Orthodont franç* 1972;**43**:271-283.
- PHANACHET I., WHITTLE T., WANIGARATNE K., KLINEBERG I. J., SESSLE B. J., MURRAY G. M.
Functional heterogeneity in the superior head of the human lateral pterygoid. *J dent Res* 2003;**82**(2):106-111.
- ROUVIERE A.
Anatomie humaine descriptive, topographique et fonctionnelle., in Anatomie tête et cou, Ed: Masson Paris, 1991.
- SCOTT G., WESTBERG K. G., VRENTZOS N., KOLTA A., LUND J. P.
Effect of lidocaine and NMDA injections into the medial pontobulbar reticular formation on mastication evoked by cortical stimulation in anaesthetized rabbits. *Eur J Neuro* 2003;**17**(10):2156-2162.
- SESSLE B. J., GUZZA S. C.
Jaw movement-related activity and reflexly induced changes in the lateral pterygoid muscle of the monkey Macaca fascicularis. *Arch oral Biol* 1982;**27**(2):67-73.
- VAN EIJDEN T.M., KOOLSTRA J. H., BRUGMAN P.
Architecture of the human pterygoid muscles. *J Dent Res* 1995;**74**(8):1489-1495.