

Rhéologie des acides hyaluroniques et rajeunissement facial dynamique : spécificités topographiques

RÉSUMÉ : La connaissance de la rhéologie des acides hyaluroniques est fondamentale dans la prise en charge du rajeunissement facial. En effet, les contraintes mécaniques complexes auxquelles sont soumis les implants d'acide hyaluronique dans les tissus faciaux sont variables en fonction des zones anatomiques.

L'analyse des contraintes mécaniques au niveau des différentes régions anatomiques du visage va ainsi permettre de définir un véritable "cahier des charges" rhéologique pour les acides hyaluroniques implantés dans ces zones spécifiques. Ces données fondamentales conduiront à une correction optimale des pertes de volume liées au vieillissement, en permettant un choix raisonné du produit selon la zone anatomique concernée.



→ **Th. MICHAUD¹,
L. BELHAOUARI², V. GASSIA³**

¹ Cabinet de Dermatologie, MULHOUSE.

² Centre de Chirurgie Esthétique, TOULOUSE.

³ Cabinet de Dermatologie, TOULOUSE.

Le rajeunissement facial a considérablement évolué grâce à une meilleure connaissance de la physiologie du vieillissement du visage. Actuellement, la prise en compte de la dynamique faciale est devenue incontournable [1] : véritable quatrième dimension de l'esthétique, elle permet de respecter les expressions faciales émotionnelles qui jouent un rôle essentiel dans la communication interpersonnelle. Par ailleurs, la connaissance des expressions faciales émotionnelles facilite l'identification et la correction des expressions faciales négatives liées au vieillissement. Cette démarche respecte à la fois le naturel et la singularité du visage, qui est notre référence identitaire, et correspond parfaitement aux attentes des patients dont l'une des grandes craintes est celle du "clonage esthétique".

L'utilisation des acides hyaluroniques est essentielle dans tous les processus de rajeunissement facial. Or, l'implantation d'un acide hyaluronique dans une structure anatomique complexe soumet

l'implant à des forces multiples résultant de contraintes mécaniques intrinsèques et extrinsèques. Ces contraintes sont différentes selon la zone anatomique traitée, pour laquelle il est possible de définir un véritable "cahier des charges" rhéologique, variable évidemment en fonction de la région concernée. Ainsi, la bonne connaissance des propriétés rhéologiques des acides hyaluroniques est indispensable pour choisir le produit idéal pour chaque indication et chaque zone anatomique à corriger [2].

Les propriétés mécaniques des acides hyaluroniques

La rhéologie définit l'ensemble des propriétés de déformation et d'écoulement d'un matériau sous contrainte. L'acide hyaluronique est un gel viscoélastique comportant deux composantes :

– une composante visqueuse témoignant de sa capacité à la déformation, par exemple lors de l'écoulement à travers une aiguille ou une canule ;

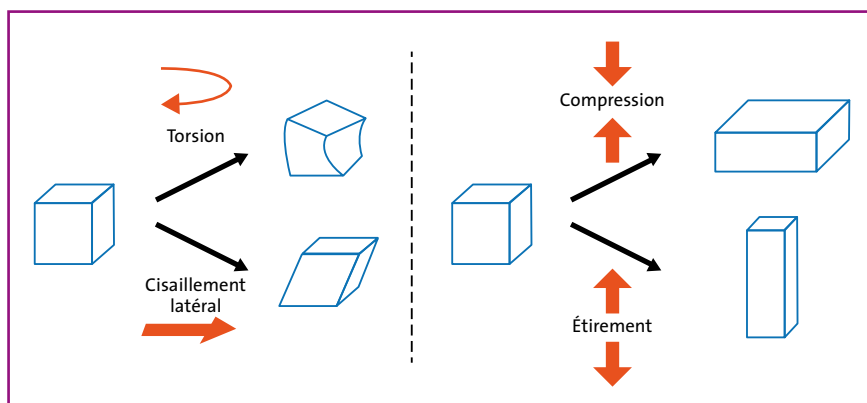


FIG. 1 : Différents types de déformations auxquels sont soumis les acides hyaluroniques (d'après [2]).

– une composante élastique qui définit la capacité du gel à retrouver tout ou partie de sa forme après une déformation initiale.

Il s'agit donc, pour le fabricant d'acides hyaluroniques, de combiner les composantes élastiques et visqueuses afin d'obtenir un gel possédant les propriétés recherchées, et qui vont intervenir à la fois dans la procédure d'injection et dans les résultats cliniques : force d'extrusion, malléabilité, capacité de soulèvement, mobilisation tissulaire lors de la dynamique faciale, facilité d'étalement et intégration tissulaire.

Il existe deux types de déformations fondamentales auxquelles peuvent être soumis les acides hyaluroniques, avec des combinaisons possibles (fig. 1) :

- cisaillement latéral ou torsion dans un plan ;
- compression/étirement selon un axe.

Les contraintes de cisaillement latéral ou de torsion selon un axe vont définir les paramètres de viscoélasticité ; les contraintes de compression/étirement selon un axe vont définir les paramètres de cohésivité.

1. Viscoélasticité

Un acide hyaluronique doit être viscoélastique : il doit pouvoir être suf-

fisamment déformé pour être injecté dans une seringue (ou une canule) et modelé. De même, il doit être suffisamment élastique pour obtenir une correction durable résistant aux forces de cisaillement.

La résistance aux contraintes de cisaillement et/ou torsion selon un axe donne accès aux paramètres de viscoélasticité. Quatre paramètres mesurables grâce aux rhéomètres peuvent ainsi être définis :

- **module G^*** : il représente l'énergie totale nécessaire pour déformer un matériau. Il mesure les propriétés viscoélastiques globales et définit la dureté du gel ;
- **module élastique G'** : il correspond à la fraction d'énergie de G^* restituée après déformation. Il mesure les propriétés élastiques et définit la résistance à la déformation ;
- **module visqueux G''** : il s'agit de la fraction d'énergie de G^* perdue après déformation. Il reflète l'incapacité du gel à retrouver sa forme initiale après déformation. La viscosité permet l'injectabilité du gel ;
- **tan δ** : c'est le rapport G''/G' . Il permet de mesurer si un gel est plus élastique ou plus visqueux.

Ainsi, si un gel était élastique à 100 %, son G' serait égal à son G^* et son G'' égal à 0 ; si un gel était visqueux à 100 %, son G'' serait égal à son G^* et son G' égal à 0. Un gel viscoélastique se situe entre ces

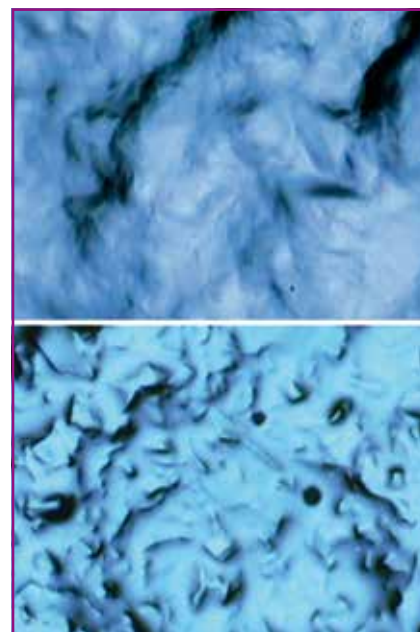


FIG. 2 : Photos microscopiques avec grossissement de $\times 85,6$ (d'après [2]).

deux extrêmes, défini par son tan δ . Par ailleurs, G^* et G' ont tendance à augmenter quand on réticule davantage l'acide hyaluronique, tandis que G'' a tendance à diminuer. Sur un plan clinique, les contraintes de cisaillement sont causées par des mouvements de glissement entre les différents plans anatomiques (peau, muscles, graisse et os). Un gel à forts G^* et G' résistera mieux à ces mouvements et conservera mieux sa forme. Cependant, un bolus de gel d'acide hyaluronique n'est pas constitué d'un seul bloc de gel, mais d'un assemblage de blocs réticulés plus ou moins collés ensemble (fig. 2) : cette notion fondamentale permet d'introduire celle de cohésivité.

2. Cohésivité

La cohésivité définit les forces d'adhésion internes maintenant entre elles les unités réticulées d'acide hyaluronique pour former un gel (fig. 3). Elle définit l'adhésion du gel sur lui-même : plus un gel est cohésif, plus il résiste à la compression/étirement. À G^*/G' égaux, un gel à forte cohésivité perdra plus facile-

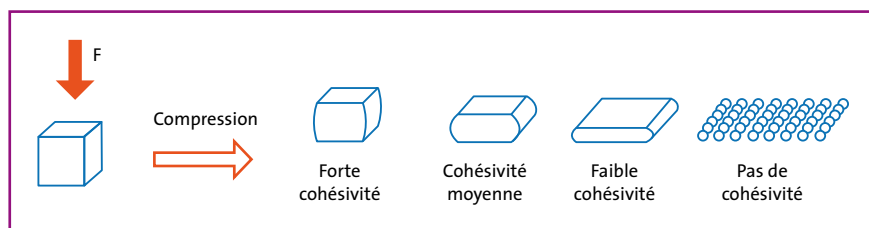


FIG. 3 : Principes de la cohésivité.

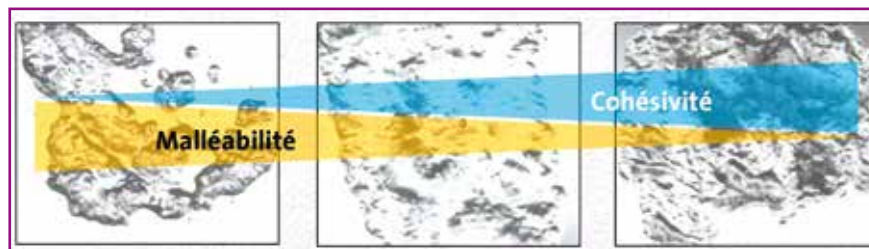


FIG. 4 : Malléabilité et cohésivité (d'après [2]).

ment sa capacité de projection qu'un gel à forte cohésivité.

La cohésivité peut être mesurée par la résistance à la compression verticale. Elle dépend de la concentration d'acide hyaluronique et de la technologie de réticulation. Elle n'est pas proportionnelle à la réticulation. Sur un plan clinique, la cohésivité définit la projection verticale initiale donnée par le bolus de gel d'acide hyaluronique injecté, avant toute contrainte de cisaillement. Par ailleurs, elle influence fortement la capacité à modeler le gel juste après l'injection : ainsi, un gel moins cohésif sera plus malléable (fig. 4).

3. Autres propriétés fondamentales de l'acide hyaluronique

À côté de ces propriétés mécaniques fondamentales de l'acide hyaluronique, d'autres facteurs liés au produit (et qui ne seront pas détaillés ici) vont jouer un rôle essentiel dans les résultats cliniques obtenus :

– l'**hydrophilie** détermine le risque œdémateux et permet, lorsqu'elle est faible, le contrôle immédiat du résultat clinique après injection ;

- l'**intégration tissulaire** définit en partie la visibilité du produit et permet l'obtention de résultats naturels par le respect de la dynamique faciale ;
- la **durabilité dans le temps** ;
- la **tolérance du produit**.

4. Caractéristiques qualitatives d'un gel d'acide hyaluronique

Le schéma suivant résume les propriétés essentielles d'un acide hyaluronique (fig. 5).

On voit que la capacité liftante d'un acide hyaluronique va dépendre essentiellement de son G' et de sa cohésivité.

L'ensemble de ces caractéristiques est sous-tendu par un certain nombre de paramètres essentiels [3] :

- le ou les types d'acides hyaluroniques utilisés, notamment la longueur des chaînes impliquées ;
- les procédés de réticulation et de formulation ;
- la concentration finale en acide hyaluronique.

Des propriétés mécaniques à la clinique

1. Les contraintes mécaniques faciales

Le visage présente une structure anatomique complexe soumise à des forces variées associant compression/étirement et cisaillement latéral, très variables en fonction de la région concernée. Toutes les contraintes mécaniques se résument à une combinaison variable de ces 2 types de forces. On peut schématiquement distinguer :

- des forces intrinsèques : c'est l'ensemble des tensions et mouvements entre les différents tissus faciaux (os, muscles, graisse et peau) à l'état statique, mais aussi lors de la dynamique faciale ;
- des forces extrinsèques qui sont liées à la vie quotidienne et aux activités inhérentes (sommeil, activités physiques, alimentation, baisers, etc.).

À chaque zone anatomique vont s'appliquer des contraintes mécaniques variant

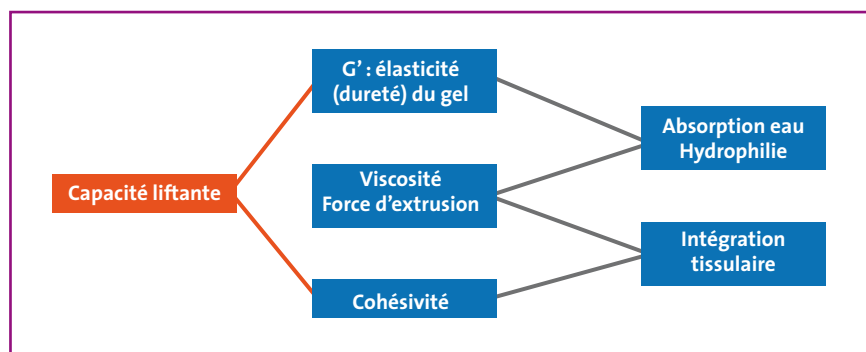


FIG. 5 : Propriétés essentielles de l'acide hyaluronique (en bleu).

en nature, en intensité et en fréquence. Il faudra donc utiliser dans ces régions, pour le rajeunissement facial, un ou des acides hyaluroniques possédant des propriétés rhéologiques adaptées et répondant à un "cahier des charges" spécifique.

2. Le cahier des charges rhéologique du tiers supérieur du visage

● Les cernes

Dans la région des cernes (*fig. 6*), les contraintes mécaniques sont représentées par des forces de compression et de cisaillement faibles. Ainsi, l'acide hyaluronique utilisé répond au cahier des charges rhéologique suivant : peu de résistance à la compression, grande malléabilité. De même, il doit posséder une cohésivité faible et une résistance à la déformation (G') faible à modérée. Par ailleurs, il ne doit pas être susceptible d'induire des œdèmes après injection (à différencier évidemment des œdèmes liés au traumatisme du geste technique) : son hydrophilie doit en conséquence être faible. Enfin, il doit être dépourvu d'effet Tyndall (gel lisse) et devra être



FIG. 6 : Correction des cernes avec acide hyaluronique 15 mg/mL (VYC-15L) (Coll. Th. Michaud).

invisible après injection, donc introduit en profondeur dans le bon plan anatomique, au contact osseux.

● La région frontale

Au niveau du front, les contraintes mécaniques sont représentées par des forces de compression faibles à moyennes et par des forces de cisaillement modérées à fortes. Le cahier des charges rhéologique est caractérisé par une bonne capacité de soulèvement mais aussi d'étalement. Le produit doit être indétectable en statique et lors de la mobilisation du front en dynamique. Par conséquent, l'acide hyaluronique utilisé devra posséder une cohésivité moyenne et une résistance à la déformation (G') modérée.

● La région temporale

Dans la région temporale, les contraintes mécaniques sont représentées essentiellement par des forces de compression, associées à des contraintes de cisaillement faibles. Le cahier des charges rhéologique dépend de la technique utilisée pour corriger la perte de volume temporale (*fig. 7*) :

>>> En cas d'injection profonde dans la fosse temporale, il faudra une bonne capacité de soulèvement et une bonne

résistance à la compression : l'acide hyaluronique utilisé devra posséder une cohésivité forte et une résistance à la déformation (G') élevée.

>>> En cas d'injection dans le compartiment graisseux superficiel, l'acide hyaluronique devra posséder une capacité de soulèvement moindre mais tout de même suffisante pour obtenir un effet thérapeutique correct ; il devra également avoir une bonne capacité de malléabilité et d'étalement afin d'être indétectable. L'acide hyaluronique utilisé aura une cohésivité faible à moyenne et une résistance à la déformation (G') modérée à moyenne.

3. Le cahier des charges rhéologique du tiers moyen du visage

● Volumétrie profonde du tiers moyen

Dans la région du tiers moyen, si l'on considère la correction volumétrique du compartiment graisseux profond (*fig. 8*), les contraintes mécaniques sont représentées par des forces de cisaillement latéral assez faibles, mais par des forces de compression moyenne à élevées. Le cahier des charges rhéologique nécessite une projection avec maintien des contours, une bonne résistance à la

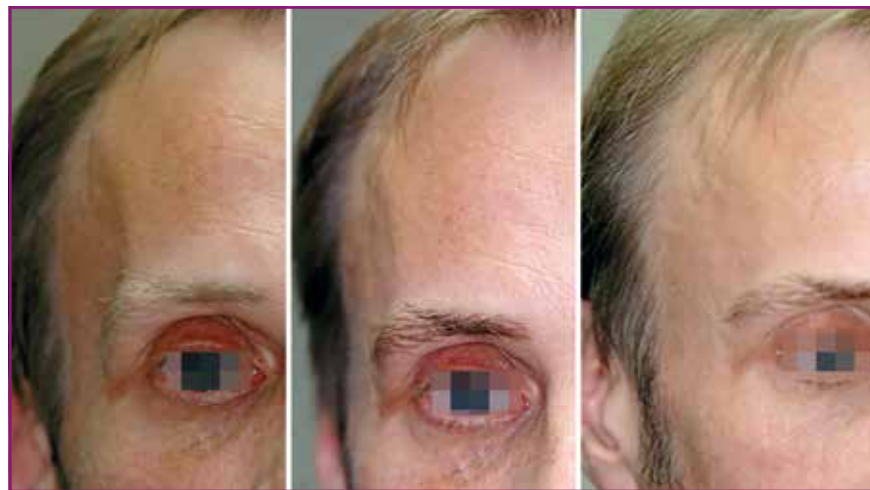


FIG. 7 : Correction de la perte de volume temporale avec acide hyaluronique 20 mg/mL (VYC-20L) (Coll. Th. Michaud).



FIG. 8 : Volumétrie du compartiment graisseux profond du tiers moyen avec acide hyaluronique 20 mg/mL (VYC-20L) (Coll. Th. Michaud).



FIG. 9 : Coupe transversale du tiers moyen: compartiments graisseux superficiels et profond, séparés par l'*orbicularis oculi* (Coll. L. Belhaouari). Correction volumétrique des compartiments profond (en vert) et superficiels (en bleu).

compression et à l'étirement. Le produit utilisé doit de ce fait posséder une cohésivité élevée à moyenne, avec une résistance à la déformation (G') moyenne à élevée. Évidemment, le produit doit être indétectable et ne pas migrer: il convient donc de l'injecter en bonne position dans le compartiment graisseux profond, au contact osseux (**fig. 9**).

● Correction des compartiments graisseux superficiels

Au niveau des compartiments graisseux superficiels, les contraintes mécaniques sont représentées par des forces de compression plus faibles et des forces de cisaillement faibles à modérées (**fig. 10**).



FIG. 10 : Anatomie des compartiments graisseux superficiels du tiers moyen (Coll. Th. Michaud).

Le cahier des charges rhéologique nécessite peu de projection, une bonne malléabilité et une bonne intégration tissulaire, de sorte que le produit soit indétectable en statique, à la palpation et en dynamique. Le produit devra posséder une cohésivité faible à moyenne et une résistance à la déformation (G') modérée.

4. Le cahier des charges rhéologique du tiers inférieur du visage

● Les lèvres

Il faut distinguer les lèvres rouges et les lèvres blanches.

>>> Lèvres rouges: les contraintes mécaniques sont complexes, associant des forces de compression/étirement fortes et de cisaillement faibles à moyennes. Le cahier des charges rhéologique nécessite une bonne projection, un respect du naturel en statique avec un produit indétectable et une excellente mobilité en dynamique. Il faut également une bonne intégration tissulaire. Le produit devra donc posséder une bonne cohésivité, avec une résistance à la déformation (G') modérée à moyenne.

>>> Lèvres blanches: les contraintes mécaniques associent peu de compression et peu de cisaillement. Il s'agit surtout d'un traitement superficiel visant à corriger des rides multiples, soit d'héliodermie, soit d'expression par la mise en jeu de l'*orbicularis oculi*, soit une association des deux. Le cahier des charges rhéologiques nécessite donc une excellente malléabilité, un bon étalement, le produit devant être indétectable en statique et en dynamique. L'acide hyaluronique injecté devra être caractérisé par une cohésivité et une résistance à la déformation (G') faibles (**fig. 11**).

● La zone péri-orale

Les contraintes mécaniques sont complexes, associant des forces de compression/étirement faibles à modérées et des forces de cisaillement également faibles à modérées. Le cahier des charges rhéologique nécessite un produit aisément modelable, indétectable en statique et en dynamique. Le produit devra donc



FIG. 11 : Correction labiale avec acide hyaluronique 15 mg/mL (VYC-15L) (Coll. Th. Michaud).

POINTS FORTS

- ➞ Chaque acide hyaluronique peut être défini en fonction de ses caractéristiques rhéologiques : viscoélasticité et cohésivité, qui dépendent de divers paramètres, dont la concentration en acide hyaluronique, la taille des chaînes d'acide hyaluronique utilisées, la technologie de réticulation et de formulation
- ➞ La viscoélasticité concerne les contraintes de cisaillement latéral et/ou de torsion selon un axe. Elle est définie par les paramètres suivants : module élastique G' mesurant les propriétés élastiques du gel et la résistance à la déformation, module visqueux G'' reflétant l'incapacité du gel à retrouver sa forme après déformation. La cohésivité définit l'adhésion du gel sur lui-même et sa capacité à résister aux forces de compression/étirement.
- ➞ Chaque région du visage est soumise à des contraintes mécaniques spécifiques dont doivent tenir compte le ou les acides hyaluroniques implantés pour corriger les pertes de volume liées au vieillissement : il est ainsi possible de définir un véritable "cahier des charges" rhéologique en fonction de chaque zone anatomique à améliorer.
- ➞ Le respect du cahier des charges rhéologique permet la correction naturelle des pertes de volume liées au vieillissement et le respect de la dynamique faciale, donc du langage émotionnel du visage.



FIG. 12 : Correction de la région péri-orale avec acide hyaluronique 17,5 mg/mL (VYC-17,5L) (Coll. Th. Michaud).

posséder une cohésivité moyenne et une résistance à la déformation (G') modérée. En cas de sillons profonds, un acide hyaluronique de plus haute cohésivité peut être nécessaire. Il sera cependant plus difficile à modeler et sera plus facilement détectable, surtout en dynamique (fig. 12).

● Le menton

Les contraintes mécaniques associent des forces de compression importantes

mais relativement peu de cisaillement. Le cahier des charges rhéologique nécessitera donc une bonne projection avec un produit qui ne devra en aucun cas migrer. L'acide hyaluronique injecté devra par conséquent posséder une cohésivité élevée et une résistance à la déformation (G') élevée.

● Le nez

Les contraintes mécaniques sont représentées par des forces de compression



FIG. 13 : Correction d'un nez "en trompette" après rhinoplastie avec acide hyaluronique 17,5 mg/mL (VYC-17,5 L) (coll. Th. Michaud).

modérées, sans cisaillement. Le cahier des charges impose une bonne capacité de projection, une bonne malléabilité, l'absence de possibilité de migration du produit, qui doit rester indétectable. L'acide hyaluronique injecté devra posséder une cohésivité faible à moyenne et un G' modéré (fig. 13).

● L'ovale du visage

Les contraintes mécaniques associent des forces de compression/étirement moyennes à modérées et des forces de cisaillement faibles à modérées. Le cahier des charges rhéologique doit distinguer :

>>> La correction profonde en appui osseux pour restituer l'ovale du visage : il faudra dans ce cas une bonne projection avec un produit qui ne migre pas. L'acide hyaluronique devra posséder une cohésivité élevée et une résistance à la déformation (G') élevée.

>>> La correction superficielle avec un produit aisément modelable, indétectable en statique et en dynamique : l'acide hyaluronique devra être caractérisé, dans ce cas, par une cohésivité moyenne et une résistance à la déformation (G') modérée.

Conclusion

La prise en compte de la dynamique faciale dans le rajeunissement du visage est aujourd'hui incontournable. Elle permet des résultats plus naturels tout en respectant le langage émotionnel et en corrigeant les expressions négatives liées au vieillissement. Pour cela, nous devons bien connaître les propriétés rhéologiques des acides hyaluroniques que nous utilisons : cette connaissance permettra un choix raisonné du produit en fonction du cahier des charges rhéologique de la zone anatomique à corriger. Placer le bon produit au bon endroit revêt, en effet, un intérêt crucial pour l'obtention de résultats plus performants en statique mais aussi, et surtout, dans la dynamique faciale. Nous répondrons ainsi de manière plus précise aux attentes de nos patients pour qui le respect du "visage de référence" (David Le Breton) est primordial.

Bibliographie

1. MICHAUD T, GASSIA V, BELHAOUARI L. Facial dynamics and emotional expressions in facial aging treatments. *J Cosmet Dermatol*, 2015;14:9-21.
2. PIERRE S, LIEW S, BERNARDIN A. Basics of dermal filler rheology. *Dermatol Surg*, 2015;41:S120-S126.
3. MUHN C, ROSEN N, SOLISH N *et al.* The evolving role of hyaluronic acid fillers for facial volume restoration and contouring: a Canadian overview. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, 2012;5:147-158.

Pour en savoir plus

- 2013 Plastic Surgery Statistic Report. Arlington Heights, IL: ASPS National Clearinghouse of Plastic Surgery Procedural Statistics. *American Society of Plastic Surgeons*, 2013.
- KONTIS TC. Contemporary review of injectable facial fillers. *JAMA Facial Plast Surg*, 2013;15:58-64.
- CAVALLINI M, GAZZOLA R, METALLA M *et al.* The role of hyaluronidase in the treatment of complications from hyaluronic acid dermal fillers. *Aesthet Surg J*, 2013;33:1167-1174.
- TEZEL A, FREDRICKSON GH. The science of hyaluronic acid fillers. *J Cosmet Laser Ther*, 2008;10:35-42.
- CARRUTHERS J, RZANY B, SATTTLER G *et al.* Anatomic guidelines for augmentation of the cheek and infraorbital hollow. *Dermatol Surg*, 2012;38:1223-1233.
- KABLIK J, MONHEIT GD, YU L *et al.* Comparative physical properties of hyaluronic acid dermal fillers. *Dermatol Surg*, 2009;35 (Suppl 1):302-312.
- SUNDARAM H, VOIGTS B, BEER K *et al.* Comparison of the rheological properties

of viscosity and elasticity in two categories of soft tissue fillers: calcium hydroxylapatite and hyaluronic acid. *Dermatol Surg*, 2010;36:1859-1865.

- SANTORO S, RUSSO L, ARGENZIO V *et al.* Rheological properties of cross-linked hyaluronic acid dermal fillers. *J Appl Biomater Biomech*, 2011;9:127-136.
- FALCONE SJ, BERG RA. Crosslinked hyaluronic acid dermal fillers: a comparison of rheological properties. *J Biomed Mater Res A*, 2008;87:264-271.
- STOCKS D, SUNDARAM H, MICHAELS J *et al.* Rheological evaluation of the physical properties of hyaluronic acid dermal fillers. *J Drugs Dermatol*, 2011;10:974-980.
- SUNDARAM H, CASSUTO D. Biophysical characteristics of hyaluronic acid soft-tissue fillers and their relevance to aesthetic applications. *Plast Reconstr Surg*, 2013;132(4Suppl2):5S-21S.
- WHITTINGSTALL P. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Wrolstad RE, ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2006:H3. Available at: <http://emuch.net/html/200612/369888.html>. Accessed March 19, 2015.
- BORRELL M, LESLIE DB, TEZEL A. Lift capabilities of hyaluronic acid fillers. *J Cosmet Laser Ther*, 2011;13:21-27.
- RITSCHER WA, SUZUKI K. In vitro testing of injectability. *Pharm Ind*, 1979; 41:468-475.
- CILURZO F, SELMIN F, MINGHETTI P *et al.* Injectability evaluation: an open issue. *AAPS Pharm Sci Tech*, 2011;12:604-609.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.