Maastricht University

Modification of the mandibular split based on a physical model

Citation for published version (APA):

Böckmann, R. A. (2017). *Modification of the mandibular split based on a physical model: experimental animal and clinical studies*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. https://doi.org/10.26481/dis.20171207rb

Document status and date:
Published: 01/01/2017

DOI:
10.26481/dis.20171207rb

Document Version:
Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

• A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
• The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
• The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

Link to publication

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Download date: 19 Apr. 2024

Summary

The thesis examined the biomechanics of the sagittal split osteotomy in-vitro and in-vivo. The traditional technique by Obwegeser-Dal Pont was compared with the modification by Wolford, who added an osteotomy to the inferior border of the mandible. Tests were done in-vitro in animal and human cadavers and in-vivo in humans. Additionally, the effect of the instruments used for the osteotomy were examined by comparing the sagittal split performed with a rotating burr with an oscillating saw. The acquired data was used to detect the most critical steps in the procedure of the sagittal split osteotomy.

Chapter 1 introduces the technique of the sagittal split osteotomy by giving a short overview about the history of orthognathic surgery and its preliminary end of development with the introduction of the sagittal split of the ascending ramus. This technique prevents visible scaring and damage to the facial and trigeminal nerve. Complications such as damage to the inferior alveolar nerve and the unfavorable split remained, despite numerous modifications by Dal-Pont, Hunsuck, Epker, and Wolford. Today the most common complication is the impairment of the inferior alveolar nerve due to neuropraxia, axonotmesis or neurotmesis resulting in a deteriorated sensibility of the lower lip and the chin area. In addition, there is the risk of an unfavorable split, with the fracture of the buccal cortex being the most common incidence and with the condylar fracture as the most difficult one to treat by an intraoral approach.

The review in chapter 2 describes the history of the sagittal split osteotomy intended to correct skeletal deformities often in combination with occlusional aberrations. Beginning with Hullihen's osteotomy of the mandibular front segment in 1849, the most important inventions by Blair, Eiselberg, Perthes and Schlössmann, Kostečka, Kazanjian and Schuchardt are enlisted until Hugo Obwegeser introduced the sagittal split osteotomy. Due to the complications, as damage to the inferior alveolar nerve, bad splits and relapse, that still occurred, numerous modifications of the sagittal split osteotomy had been introduced. Dal Pont enlarged the overlapping bone segments to prevent nonunion by relocating the proximal osteotomy in the anterior direction. Hunsuck shortened the horizontal osteotomy to prevent excessive tunneling of the lingual pterygomandibular space. By doing so he avoided stress and damage to the inferior alveolar nerve at its entrance in the mandibular foramen. Stabilization of the segments by wire - the modification by Epker was primarily intended to keep the condyle in the correct position - prevented sagging and relapse. Following the AO guidelines, first Spiessl, later Steinhäuser, Bell (screws) and Michelet (mini plates) introduced the internal rigid osseofixation of the two segments. Its use superseded the inconvenience of long-lasting intermaxillary fixation and it helped to prevent relapse by adding more stability to the two segments. The last significant alteration was the addition of the inferior border osteotomy of the mandible by Wolford. This had probably the most significant impact on the biomechanics of the sagittal split of all modifications. The review ends with the first

biomechanical studies of the sagittal split osteotomy by Böckmann, which are the subject of this thesis.

This article was awarded as "Best Regional Paper 2015 - Europe" by the editors of "Plastic Reconstructive Surgery GO".

Chapter 3 describes the effects of adding an inferior border osteotomy to the traditional sagittal split osteotomy in pig cadaver mandibles by using a self-constructed test setup. The test rack was validated by splitting 30 mandibles bilaterally with the same technique. Sixteen mandibles were split bilaterally using the traditional technique by Obwegeser-Dal Pont. The torque force that was necessary to split the mandible was measured and compared to the other side. The correlation between the two sides was 0.96 with no significant difference. Then 14 mandibles were split using the Obwegeser-Dal Pont technique with an additional inferior border osteotomy. This test revealed the same result with a non-significant difference of 0.01 Nm between both sides proving the test setting as reliable.

In a split-mouth model, another 70 pig mandibles were split sagittally. One side was split using the traditional Obwegeser-Dal Pont technique, the contralateral side was split using the Obwegeser-Dal Pont technique with an additional osteotomy of the inferior mandibular border. The average torque necessary to complete the split was 2.10 Nm for the Obwegeser-Dal Pont technique and 1.50 Nm for the modified technique. This difference was significant.

In chapter 4, a split-mouth model in 70 pig cadaver mandibles was used to compare the lingual fracture lines of a sagittal split osteotomy between the traditional Obwegeser-Dal Pont technique and the same technique with an additional mandibular border osteotomy. Using the Obwegeser-Dal Pont technique, 100% of all fractures ran through the mandibular canal. After adding an inferior border osteotomy to the traditional technique, 75% could be classified as ideal Hunsuck-like fracture pattern with the remaining 25% showing the already mentioned fracture pattern through the mandibular canal.

The splitting results of the Obwegeser-Dal Pont technique compared to the same technique with the additional inferior border osteotomy in 35 human cadaver mandibles are reported in chapter 5. In a split-mouth model, one side of the mandible was split according to Obwegeser-Dal Pont and the contralateral side of the mandible was split using the same technique with an osteotomy of the inferior mandibular border. The torque forces were recorded during the splitting procedure and the lingual fracture line was classified according to the classification of Plooij. Torque was significantly reduced by 26% adding the inferior border osteotomy. Three quarters of all split mandibles fractured along the inferior mandibular border when using the modified technique resulting in a type I or II fracture pattern. When using the Obwegeser-Dal Pont technique, about

2/3 of all lingual fractures ran through the mandibular canal (type III) leaving the rest to type I, II (Obwegeser or Hunsuck fracture pattern) or IV (bad split) fractures.

Chapter 6 describes the results of the Obwegeser-Dal Pont splitting procedure depending on using a rotating instrument or an oscillating instrument for the osteotomies. This study was based on the hypothesis that the stress of the torque is better concentrated in sharp-edged osteotomies than in round-shaped osteotomies. If a saw was used to create sharp edged osteotomies, 16% less torque was needed to split a pig cadaver mandible compared to a sagittal splitting with round shaped osteotomies created by a Lindemann burr. Splitting prepared with the oscillating saw had more complete splits than the group where the osteotomies had been prepared with a rotating burr.

Transferring the in-vitro results into clinical practice, chapter 7 summarizes the first preliminary results in a randomized prospective clinical study in humans, where in a split-mouth model one side of the mandible was split with the Obwegeser-Dal Pont technique, and the contralateral side was split using the Obwegeser-Dal Pont technique with an inferior border osteotomy. The results confirmed the use of a more predefined split. With the additional inferior border osteotomy, the lingual fracture ran closer towards the posterior border of the ascending ramus compared to the traditional technique as seen on post-operative cone-beam computed tomography scans. General torque forces necessary to split the mandibles ranged from 0.9 Nm to 2.38 Nm. About 14% less torque was necessary to complete the sagittal split on the side with the additional inferior border osteotomy. These results are encouraging to proceed with this technique.

Above findings are discussed in chapter 8. Although orthognathic surgery has been introduced about 150 years ago and although operation techniques have been readjusted multiple times, orthognathic surgery remains a procedure associated with complications. The introduction of the sagittal split osteotomy was a break-through regarding the surgical re-positioning of the mandible. This technique eliminated some of the most feared complications as facial palsy or non-union of the bony segments. Other complications such as numbness of the lip and chin or the risk of an unfavorable split remained. Although the technique has been modified several times the risks are still present today. To date, all modifications were evaluated only by clinical reviews. With the development of a test rack that is suited for animal and human specimen, the evaluation of the surgical procedure was transferred from the operation room into the laboratory. The test rack provides reproducible standardized conditions and the visualization of the bio-mechanics of the splitting procedure. Adding an inferior border osteotomy to the traditional technique facilitates the splitting significantly. Furthermore, the use of fine instruments for the osteotomies works as a stress raiser during the split. The applied forces are concentrated on smaller spots, which makes the fracturing process more controllable.

Valorisation

By taking the surgical technique from the operation room to the test bench, it is possible to repeat and measure parameters in detail. In-vitro and in-vivo studies proved that the sagittal split osteotomy with an additional inferior border osteotomy is more reliable. The modification results in fewer complications and quicker recovery of the patients. The next step is the transfer from the bench to a virtual environment by establishing a finite element analysis and creating a finite element method. This method enables to test different types of the sagittal split osteotomy easily. Moreover, after acquiring the individual data-set of the patient's mandible the operation could be performed virtually before going to the theatre, making the surgeon aware of possible pitfalls in an individual case. A close collaboration with software and mechanical engineering is required to achieve this goal.

Samenvatting

In dit proefschrift wordt de biomechanica van de sagittale splijtingsosteotomie in-vitro en in-vivo bestudeerd. De traditionele techniek volgens Obwegeser-Dal Pont wordt vergeleken met de modificatie volgens Wolford, die een osteotomielijn aan de onderrand van de mandibula toevoegde. In-vitro werden experimenten gedaan op dierlijke en humane kadavers, daarna werd de studie voorgezet in-vivo bij mensen. Daarnaast werd het effect van het gebruikte instrumentarium voor de osteotomie onderzocht. Er werd vergeleken tussen de sagittale splijting die werd aangezet door ronddraaiend instrumentarium en door oscillerend instrumentarium. De verkregen data werden gebruikt om de meest kritische stappen in het proces van de sagittale splijtingsosteotomie te identificeren.

Hoofdstuk 1 beschrijft de techniek van de sagittale splijtingsosteotomie van de onderkaak aan de hand van een kort chronologisch overzicht van de orthognatische chirurgie en het voorlopige einde van de ontwikkeling hiervan. Dit einde werd gekenmerkt door de introductie van de sagittale splijting van de ramus ascendens mandibulae. Deze techniek moest zichtbare littekens en schade aan de nervus facialis en nervus trigeminus voorkomen. Complicaties zoals schade aan de nervus alveolaris inferior of een ongunstige splijting van de mandibula bestaan heden ten dage echter nog steeds ondanks de vele modificaties door Dal Pont, Hunsuck, Epker en Wolford. Tegenwoordig is het meest voorkomende restletsel functieverlies van de nervus alveolaris inferior in de vorm van neuropraxie, axonotmesis of neurotmesie. Allen resulterend in verminderde sensibiliteit van de onderlip en kin. Daarnaast bestaat het risico op een ongunstige splijting van de mandibula. Meest voorkomend is een fractuur van de buccale cortex. Een fractuur van het collum mandibulae is het lastigste te behandelen via een intra-orale benadering.

Hoofdstuk 2 beschrijft de historie van de sagittale splijtingsosteotomie ter correctie van skeletale afwijkingen die vaak in combinatie voorkomen met occlusiestoornissen. Startend bij de osteotomie van het frontsegment door Hullihen in 1849 worden de belangrijkste ontwikkelingen door Blair, Eiselberg, Perthes en Schlössman, Kostečka, Kazanjian and Schuchardt besproken tot aan de introductie van de sagittale splijtingsosteotomie door Hugo Obwegeser. Vanwege de nog immer optredende complicaties zoals letsel van de nervus alveolaris inferior, ongunstige splijting en relapse werden talrijke modificaties op de sagittale splijtingsosteotomie geïntroduceerd. Ter preventie van non-unions verlengde Dal Pont de afstand van de overlappende botsegmenten door de proximale osteotomie naar anterieur te verplaatsen. Hunsuck verkortte de horizontale osteotomie om de manipulatie in de ptergygomandibulaire ruimte te verkleinen waardoor rek en schade aan de nervus alveolaris inferior op de intredeplaats in het foramen mandibulae werd beperkt. Epker modificeerde de techniek door de segmenten te stabiliseren door middel van een draadligatuur, dit was voornamelijk bedoeld om de condylus in de juiste positie te houden en om verzakking en relapse te voorkomen. De aan-

hangers van de AO-filosofie introduceerden de interne rigide fixatie van de twee botsegmenten. Eerst door Spiessl, daarna Steinhäuser, Bell (schroeffixatie) en Michelet (mini plates). Het gebruik van osteosynthesemateriaal verving de onvriendelijke, langdurige intermaxillaire fixatie en hielp relapse te voorkomen door meer stabiliteit aan de twee fragmenten te geven. De laatste significante modificatie van de jarenlang bestaande osteotomie techniek van de onderkaak was de toevoeging van een osteotomie aan de onderrand van de mandibula door Wolford. Deze wijziging heeft van alle modificaties waarschijnlijk het grootste effect op de biomechanica van de sagittale splijting. De review eindigt met de eerste biomechanische studies van de sagittale splijtingsosteotomie door Böckmann, die het onderwerp zijn van dit proefschrift.

Dit artikel werd door de editors van "Plastic Reconstructive Surgery GO" verkozen tot "Best Regional Paper 2015 – Europe".

Hoofdstuk 3 beschrijft het effect van toevoeging van een osteotomie van de onderrand van de mandibula aan de traditionele sagittale splijtingsosteotomie op de kracht die nodig is om de mandibula te splitsen. Dit werd gedaan in kadaver varkenskaken in een zelf ontworpen proefopstelling. Voor validatie van de opstelling werden 30 varkens mandibulae bilateraal gespleten met dezelfde techniek. Zestien mandibulae werden beiderzijds gesplitst met de traditionele techniek beschreven door Obwegeser-Dal Pont. De kracht die nodig was voor de splijting werd gemeten aan beide zijden. De correlatie tussen de twee zijden was 0.96 zonder significant verschil. Vervolgens werden 14 varkens mandibulae beiderzijds gesplitst middels dezelfde techniek met toevoeging van osteotomie van de onderrand. Dit liet dezelfde resultaten zien met een niet-significant verschil in kracht van 0.01 Nm tussen beide zijden. De proefopstelling bleek daarmee betrouwbaar. In een split-mouth model werden 70 kadaver varkenskaken sagittaal gesplitst. Eén zijde werd gesplitst met de traditionele techniek van Obwegeser-Dal Pont. De contralaterale zijde werd gesplitst middels de traditionele techniek van Obwegeser-Dal Pont met toevoeging van osteotomie van de onderrand. De gemiddelde rotatiekracht nodig voor de splijting was 2.10 Nm voor de Obwegeser-Dal Pont techniek en 1.50 Nm voor de gemodificeerde techniek. Dit verschil was statistisch significant.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten besproken van een split-mouth model in 70 kadaver varkenskaken, waarin het linguale fractuurpatroon na sagittale splijtingsosteotomie werd onderzocht. Aan één zijde werd de traditionele Obwegeser-Dal Pont techniek gebruikt en aan de contralaterale zijde de traditionele Obwegeser-Dal Pont techniek met een toegevoegde osteotomie van de onderrand. Gebruikmakend van de Obwegeser-Dal Pont techniek verliep 100% van de fractuurlijnen door de canalis mandibulae. Na toevoegen van een osteotomie van de onderrand kon 75% van de fracturen worden geclassificeerd als ideale splijting volgens Hunsuck. De resterende 25% liet een fractuurpatroon door de canalis mandibulae zien zoals bij de Obwegeser-Dal Pont techniek.

Het resultaat van splijting volgens de Obwegeser-Dal Pont techniek, vergeleken met dezelfde techniek inclusief een toegevoegde osteotomie van de onderrand uitgevoerd in 35 humane kadaver mandibulae wordt beschreven in hoofdstuk 5. In een split-mouth model werd eenzijdig van de mandibula gesplitst volgens de Obwegeser-Dal Pont techniek. De contralaterale zijde werd gesplitst volgens dezelfde techniek met een toegevoegde osteotomie van de onderrand. De kracht nodig voor de splijting werd gemeten en het verloop van de linguale fractuur beoordeeld volgens de classificatie volgens Plooij. De benodigde kracht bleek 26% lager in de groep met de toegevoegde osteotomie van de onderrand, een significant verschil. In 3/4 van de splijtingen volgens de gemodificeerde techniek verliep de fractuurlijn via de onderrand van de mandibula resulterend in een type I of II fractuurpatroon. Wanneer de standaard Obwegeser-Dal Pont techniek werd gebruikt verliep ongeveer 2/3 van alle linguale fracturen door de canalis mandibulae (type III). De overige fractuurpatronen waren een type I, II (Obwegeser of Hunsuck fractuurpatroon) of IV (bad split).

Hoofdstuk 6 beschrijft de resultaten van de Obwegeser-Dal Pont splijtingsprocedure afhankelijk van het gebruik van een ronddraaiend instrument (Lindemann boor) of er een oscillerend instrument (oscillerende zaag) voor verrichten van osteotomieën. Deze studie was gebaseerd op de hypothese dat de uitgeoefende kracht tijdens splijting zich meer concentreert in osteotomieën met scherpe hoeken (oscillerende zaag) dan in osteotomieën met ronde hoeken (Lindemann boor). In kadaver varkenskaken bleek dat er 16% minder kracht nodig is om een splijting te bewerkstelligen wanneer een osteotomie met scherpe hoeken (oscillerende zaag) werd vergeleken met een osteotomie met ronde hoeken (Lindemann boor). Osteotomieën geprepareerd met de oscillerende zaag lieten een meer complete splijting zien dan de osteotomieën die waren voorbereid met een ronddraaiend instrument.

De resultaten uit het in-vitro onderzoek worden in hoofdstuk 7 vertaald naar de kliniek. De eerste resultaten van een gerandomiseerde prospectieve klinische studie in de mens worden beschreven. Hierbij werd gebruikt gemaakt van een split-mouth model. Aan één zijde werd de traditionele techniek door Obwegeser Dal-Pont gebruikt. Aan de andere zijde de gemodificeerde Obwegeser Dal-Pont techniek met een toegevoegde osteotomie van de onderrand. De resultaten pleiten voor het uitvoeren van een beter voorbereide osteotomie alvorens te splijten. Bij de techniek met toegevoegde osteotomie van de onderrand werd op postoperatieve cone-beam ct scans gezien dat de linguale fractuur meer naar de achterrand van de ramus ascendens mandibulae verloopt in vergelijking met de traditionele techniek. De kracht die nodig was om de mandibula te splijten liep uiteen van 0.9 Nm tot 2.38 Nm. Er is 14% minder kracht nodig om de sagittale splijting aan de zijde met de toegevoegde osteotomie van de onderrand te bewerkstelligen. Deze resultaten zijn bemoedigend voor het verder ontwikkelen en blijven gebruiken van deze techniek.

In hoofdstuk 8 worden bovenstaande resultaten besproken. Hoewel de orthognatische chirurgie al 150 jaar geleden zijn aanvang nam en de operatietechnieken in de loop der jaren regelmatig aangepast werden ontstaan er heden ten dage nog steeds de nodige complicaties. De introductie van de sagittale splijtingsosteotomie was een doorbraak voor wat betreft de repositie van de onderkaak. Deze techniek elimineerde de meest gevreesde complicaties zoals aangezichtsverlamming of het uitblijven van consolidatie van de botsegmenten. Andere complicaties zoals verminderde sensibiliteit van onderlip en kin of het risico van een niet gewenste splijting bleven bestaan. En ondanks verscheidene modificaties in de loop der jaren bleven deze risico's bestaan. Tot op heden werden alle modificaties van de originele splijtingsosteotomie alleen klinisch beoordeeld. Met de ontwikkeling van de eerder beschreven proefopstelling die geschikt is voor dierlijke en menselijke preparaten is de beoordeling van de chirurgische procedure ook mogelijk in het laboratorium. Gebruik van deze proefopstelling staat garant voor gestandaardiseerde condities en visualisering van de biomechanica van het splijtingsproces van de mandibula. Het toevoegen van een osteotomie aan de onderrand vergemakkelijkt de splijting aanzienlijk. Daarnaast zorgt een smalle osteotomielijn door het gebruik van fijn instrumentarium voor minder spreiding van de kracht uitgeoefend tijdens de splijting. De uitgeoefende krachten worden op een kleiner oppervlak geconcentreerd waardoor het breken van het bot beter te controleren is.

Valorisatie

Door de operatietechniek vanuit de operatiekamer naar de proefopstelling te verplaatsen is het mogelijk om de parameters zorgvuldig te meten en gestandaardiseerd te herhalen. In-vitro en in-vivo studies bewijzen dat een sagittale splijtingsosteotomie mét de toegevoegde osteotomie van de onderrand betrouwbaarder is. Deze gemodificeerde osteotomie geeft minder complicaties en bevordert een sneller herstel van de patiënt. De volgende stap is de overgang van de testopstelling naar de virtuele wereld door het berekenen van de e.e.a. (eindige-elementenanalyse) en het ontwikkelen van een e.e.m. (eindige-elementenmethode). Daarmee zou aan de hand van de gegevens van de onderkaak van de patiënt de ingreep virtueel uitgevoerd kunnen worden voor de daadwerkelijke ingreep zodat de operateur voorbereid is op de mogelijke valkuilen van iedere individuele casus.

Om dit doel te bereiken is een zeer goede samenwerking tussen softwarespecialisten, technisch ingenieurs en medici noodzakelijk.