

УДК 616.716.4-001.5-053.2-08

DOI <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2023-49-3.24>**P.I. Egorov,**

кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії дитячого віку, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Бульвар Шевченка, 13, м. Київ, Україна, індекс 01601, [dr.egorovr@icloud.com](mailto:dr.egorovr@icloud.com)

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ЛІКУВАННІ ТРАВМАТИЧНИХ ПЕРЕЛОМІВ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ В ДИТЯЧОМУ ВІЦІ: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

**Метою** даної статті є аналіз та узагальнення даних сучасної наукової літератури щодо лікування травматичних переломів нижньої щелепи у дітей. **Результати.** Переломи нижньої щелепи займають перше місце серед переломів щелепно-лицевої ділянки та залишається актуальною проблемою в дитячому віці. Лікування переломів нижньої щелепи у дітей залежить від виду, місця перелому та одними з головних факторів це віку та періоду прикусу. Залежно від типу перелому, віку та періоду прикусу іммобілізацію та фіксацію фрагментів нижньої щелепи можна досягти за допомогою двох основних способів – консервативного та хірургічного, інколи вони поєднуються та лікування стає комбінованим. Стандартизовані протоколи надання допомоги при переломах нижньої щелепи, які сьогодні випростовуються більш детально описані, однак не існують чітких протоколів лікування переломів в різних вікових групах у дітей. **Висновок.** При виборі лікування переломів нижньої щелепи необхідно акцентувати увагу на віці дитини, періоду прикусу і місця перелому. **Ключові слова:** перелом, травма, нижня щелепа, діти, лікування.

**R.I. Yehorov,**

Candidate of Medical Sciences, Associate professor at the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of Children, Bogomolets National Medical University, 13 Shevchenko Blvd, Kyiv, Ukraine, postal code 01601, [dr.egorovr@icloud.com](mailto:dr.egorovr@icloud.com)

## CURRENT TRENDS IN THE TREATMENT OF TRAUMATIC FRACTURES OF THE LOWER JAW IN CHILDHOOD: A LITERATURE REVIEW

**The purpose** this article is an analysis and generalization of the data of modern scientific literature on the treatment of traumatic fractures of the mandibular in children. **The results.** Fractures of the mandibular occupy the first place among fractures of the maxillofacial area and remain an actual problem in childhood. Treatment of fractures of the mandibular in children depends on the type, location of the

fracture, and one of the main factors is the age and period of bite. Depending on the type of fracture, age and period of occlusion, immobilization and fixation of fragments of the lower jaw can be achieved using two main methods – conservative and surgical, sometimes they are combined and the treatment becomes combined. Standardized protocols for providing care for fractures of the lower jaw, which are straightened today, are described in more detail, but there are no clear protocols for the treatment of fractures in different age groups in children. **Conclusion.** When choosing treatment for fractures of the mandibular, it is necessary to pay attention to the age of the child, the period of bite and the location of the fracture.

**Key words:** fracture, trauma, mandibular; children, treatment.

**Вступ. (Постановка проблеми).** Переломи нижньої щелепи займають перше місце серед переломів щелепно-лицевої ділянки в дитячому віці. За даними наукової літератури вони складають від 12 до 56% серед всіх ушкоджень кісток лицевого скелета, з яких переломи виросткових відростків зустрічаються від 29 до 52% [1–3].

Частіше це діти віком від 13 до 17 років, рідше переломи нижньої щелепи спостерігаються в молодших вікових групах [4].

Дитячі кістки обличчя більш стійкі до переломів порівняно з дорослим віком через свою вищу еластичність, товще окістя та виражену жирову клітковину, які виконують амортизуючу функцію при травмі. Однак за рахунок активного росту тканин переломи можуть призводити до порушення розвитку, вторинних деформацій кісток, розвитку патологічного прикусу та ускладнюватися розвитком запальних процесів [5].

Травматичні переломи мають особливості у клінічному перебігу, діагностиці та іммобілізації, що обумовлено: психоемоційним станом дитини та незавершеним морфо-функціональним розвитком тканин, наявністю зон росту, зачатків зубів. Тому, вибір найбільш адекватного та щадного виду іммобілізації в залежності від віку, прикусу та характеристики перелому є першочерговими завданнями лікаря при наданні допомоги [5].

**Мета дослідження.** Огляд сучасних досліджень, присвячених вивченню проблеми лікування переломів нижньої щелепи у дітей.

**Матеріали і методи дослідження.**

Дослідження було проведено за наступним дизайном: літературний пошук з використанням електронної бази даних PubMed для пошуку публікацій, пов'язаних з травматичними переломами нижньої щелепи. За пошуковими термінами: «mandibular fracture children», «mandibular fracture treatment», «surgical management mandibular fracture». Період публікацій за останні

10 років. Була проведена перевірка за назвою, резюме та основним повним текстом публікації на релевантність запиту, яким було лікування переломів нижньої щелепи у дітей. Дослідження без повного тексту, та які не відповідали запиту були виключені.

**Результати та їх обговорення.** В результаті проведеного ретроспективного аналізу та відбору наукових публікацій, які відповідали поставленій меті дослідження було сформовано вибірку наукових статей у кількості 30.

Короткий опис проаналізованих досліджень представлений нижче. Перші задокументовані згадки про перелом нижньої щелепи були знайдені в папірусах Едвіна Сміта датовані 1650 роком до нашої ери [6].

Лікування переломів нижньої щелепи у дітей залежить від виду, місця перелому та одними з головних факторів це віку та періоду прикусу. Основною проблемою при лікуванні переломів нижньої щелепи у дітей є постійний ріст та розвиток щелепи з переміщенням та в послідуєчому прорізуванням тимчасових та постійних зубів [7, 8].

Залежно від типу перелому, віку та періоду прикусу іммобілізацію та фіксацію фрагментів нижньої щелепи можна досягти за допомогою двох основних способів – консервативне (пристрої або апарати для іммобілізації нижньої щелепи) та хірургічне – відкрита репозиція та остеосинтез, інколи вони поєднуються та лікування стає комбінованим [8].

В більшості випадків переломи в дитячому віці зрощуються через 2-3 тижні через більш швидкий метаболізм та підвищений остеогенний потенціал окістя у дітей [6]. Таким чином, анатомічну репозицію необхідно досягти раніше, а періоди іммобілізації мають бути меншими (два тижні замість чотирьох–шести тижнів для дорослих) [9].

При переломах виросткових відростків рання іммобілізація має вирішальне значення для запобігання гемартрозу та анкілозу СНЩС [10–13].

Багато авторів рекомендують до застосування у дитячій практиці консервативне лікування основуючись на його позитивних сторонах таких як: більше безпечне, малоінвазивне, не вимагає від лікаря високої кваліфікації та високого рівня матеріально-технічної бази лікарні, доступне у застосуванні.

При використанні консервативних методів лікування переломів нижньої щелепи застосовуються методики іммобілізації нижньої щелепи

за допомогою двощелепного шинування такі як шини Тігерштедту, в іноземній літературі описані як “maxilla-mandibular fixation”, з використанням різноманітних шин або кортикальних гвинтів, дугових балок Erich, акрилових шин, наприклад шин «MacLennan» з фіксацією навколо-нижньощелепного кісткового шва, техніку прямого з’єднання з ортодонтичними брекетами та пасивні шиновані дуги та інше [14–18].

У деяких статтях ці підходи були представлені та порівнювалися з ефектами акрилових шин, фіксованих кістковим швом, і компетентністю щелепно-лицевих хірургів [19].

При підокісних переломах нижньої щелепи або так званих за типом «зеленої гілки» основною задачею є іммобілізація фрагментів нижньої щелепи за рахунок тісної репозиції їх [20]. Тому в даних випадках широко використовуються ШИНИ «MacLennan» з кістковим швом [21]. Однак для виготовлення шини необхідно отримати відбиток, виготовити акрилову шину на моделі, провести фіксації її швом, що потребує проведення загального знеболення [20].

У дослідженні Abhishek Khairwa et al (2015) описують клінічні випадки лікування переломів нижньої щелепи в ділянці симфізу та пара симфізу та вказують на інші переваги цього методу, а саме: оклюзія відкрита, функція відкривання рота не порушена, адаптацію шини можна легко провести під час її встановлення, посилюються ремоделювання за рахунок функціональних стресів, зниження катаболічної фази [6].

В літературі зустрічають випадки використання акрилових дуг при переломах виросткових відростків. Так, Cazzolla et al. представили звіт про випадок 11-річного хлопчика з однобічним переломом шийки виросткового відростка нижньої щелепи з мінімальним зміщенням, який було вправлено за допомогою знімної акрилової шини з визначеними контактами та різною товщиною акрилу, щоб утримувати суглобові показники в центричному відношенні, з міогімнастиком для відкривання рота та розтягування м’язів [15].

Чжао та ін. провели ретроспективне дослідження для оцінки віддалених ефектів (>1 рік спостереження) знімних акрилових шин і функціональних вправ (>6 місяців) для лікування переломи виростків у дітей від 3 до 16 років. Усі пацієнти мали клінічно задовільні результати з адекватною оклюзією, непорушеною функцією та нормальним ростом і розвитком нижньої щелепи [22].

Trupthi DV та ін. використовували цементовану вакуумну шину, щоб досягти репозицію перелому з використанням дуг та пружин для міжщелепної фіксації, тоді як Wu Y та ін. використовували міні-гвинти для іммобілізації нижньої щелепи [15, 23].

Міжщелепна фіксація за допомогою ортодонтичних брекетів та/або міні-гвинтів(внутрішньо кісткових) з еластичними кріпленнями описані в великій кількості наукових публікацій [15, 24, 25].

Використання інтраосальних (кортикальних) гвинтів з метою іммобілізації дозволяє уникнути застосування шин Тігерштедта з її негативними наслідками, проте має обмежені показання у вигляді локалізації перелому та можливість використання в період тільки постійного прикусу – небезпека травмування зачатків і коренів ПЗ під час встановлення гвинтів [5].

Xu et al. представили власне спостереження лікування двобічного перелому виросткового відростку та в ділянці симфізу 10-річної дитини за допомогою фіксованих брекетів з еластичними елементами. Після 49 місяців спостереження лівий виростковий відросток мав невеликий вигин голівки, що вказувало на неповне ремоделювання, тоді як правий виросток демонстрував рентгенологічні ознаки ремоделювання. Перелом симфізу нижньої щелепи зрісся [25].

Познік заявив, що приблизно 42% переломів нижньої щелепи в його серії були вправлені закритою репозицією, головним чином за допомогою двощелепної іммобілізації [6].

Однак, як і при двощелепному шинуванні за Тігештедом слід відзначити хронічну травму тканин пародонту, при цьому труднощі у підтримці гігієни порожнини рота, при використанні шин складності шинування в період змінного прикусу (наявність рухливих зубів через фізіологічну резорбцію та наявність несформованих коренів постійних зубів), а також необхідність проведення загального знеболювання при шинуванні та їх зняття в багатьох вікових групах, в подальшому можливий розвиток деформації обличчя, дисфункції і навіть анкілоз СНЩС. Також після видалення дуг, наприклад, можуть спостерігатися шкідливі наслідки демінералізації емалі та подразнення ясен, як явища катарального гінгівіту [15].

Інші автори надають перевагу хірургічному лікуванню – відкритій репозиції та остеосинтезу, завдяки стабільній та жорсткій фіксації фрагментів, швидшому функціональному відновленню та отримуванню більш високих морфологічних та функціональних результатів лікування.

Раніше більшість переломів нижньої щелепи лікували за допомогою консервативних методів з використанням закритої репозиції при необхідності. Однак, в останні роки все частіше застосовуються відкрита репозиція та остеосинтез, як стандарт лікування переломів зі стійким зміщенням у дітей. За статистикою різних авторів відсоток застосування відкритої репозиції та остеосинтезу становить 30-65%, так за даними Мотамеді -40% та Vetter – 60% випадків [26, 27].

Але даний вид лікування має свої недоліки, такі як: необхідність залучення високоспеціалізованих лікарів, висока вартість, ризики інтраопераційних кровотеч, рубцювання, травмування нервів та в подальшому розвиток парестезій. При використанні остеосинтезу фіксація та стабільність пластини у молодшому віці може бути знижена за рахунок низької мінералізації кісток та наявності зачатків тимчасових або постійних зубів в товщі щелепи. Крім того, це також є ризик для нормального росту щелепи. Алергічна реакція на метал, злам та дезінтеграція пластини можуть призводити до виникнення запальних процесів, які будуть вимагати подальшого лікування та видалення фіксуєчих елементів [20, 28]. Якщо використовується фіксація титаном, доцільно розглянути можливість видалення через 2–3 місяці після операції у педіатричній практиці.

Операція з видалення пластин та гвинтів також пов'язані з функціональними та естетичними ризиками. Тому були розроблені та введені в практику резорбуючі гвинти та пластини з полімолочної кислоти, полігліколевої кислоти або полі діоксану [20].

Із застосуванням резорбуючих матеріалів для остеосинтезу можна уникнути ризиків, пов'язаних із використанням металевих пристроїв внутрішньої фіксації, а головне виключення проведення оперативного втручання з їх видалення. Але при їх використанні все одно залишаються усі ризики, як і при фіксації титанових елементів.

Відкрита репозиція з остеосинтезом рідко показана при переломах виросткових відростків у дітей віком до 7-8 років [29].

Показаннями можуть бути наступне: зміщення в середню черепну ямку, порушення оклюзії після консервативних методів лікування, переломовивихи голівки з відривом її від капсули, двосторонні переломи виросткових відростків з осколковими переломами середньої зони обличчя [30, 31]. У всіх інших випадках консервативне безопераційне лікування дає однаково прийнятний результат з мінімальними ускладненнями [32, 33].

Хірургічне лікування з використанням ендоскопічної техніки при відкритій репозиції рідко застосовується в дитячому віці, порівняно з дорослими. Деякі автори вказують на можливість використання ендоскопічної методики у віці від 13-14 років, за рахунок вікових анатомо-фізіологічних властивостей та розмірів суглобових структур або самих інструментів. Крім того, необхідні спеціальні інструменти та довготривале навчання персоналу.

### Висновки

З клінічної точки зору, консервативне або хірургічне лікування переломів нижньої щелепи має бути диференційованим, та акцентуючи увагу на віці дитини, періоду прикусу і місця перелому.

Переломи у дітей в більшості випадків з мінімальним зміщенням при яких показане консервативне лікування, але немає чітких рекомендацій щодо клінічних показань до застосування їх.

Переломи зі значним та стійким зміщенням підлягають відкритій репозиції та остеосинтезу з елементами іммобілізації нижньої щелепи.

В останні роки завдяки впровадженню нових технологій та покращенню розуміння лікування переломів більшість ускладнень хірургічного лікування зменшилося.

### Література:

1. Li, H., Zhang G, Cui, J., et al. (2016). A modified preauricular approach for treating intracapsular condylar fractures to prevent facial nerve injury: the supratemporalis approach. *J Oral Maxillofac Surg.*, 74, 1013e1022. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.12.013>.
2. Hou, J., Chen, L., Wang, T., et al. (2014). A new surgical approach to treat medial or low condylar fractures: the minor parotid anterior approach. *J Oral Med Oral Surg Oral Pathol Oral Radiol.*, 117, 283e288. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2013.11.491>.
3. Hackenberg, B., Lee, C., Caterson, E.J. (2014). Management of subcondylar mandible fractures in the adult patient. *J Craniofac Surg.* 25, 166e171. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000000498>.
4. Rostyslav, Y., Yakovenko, L., Irina, P. (2020). Fractures of the lower jaw in children (causes, types, diagnosis and treatment). Retrospective 5 year analysis. *J Oral Biol Craniofac Res. Apr-Jun.*, 10(2), 1-5. doi: 10.1016/j.jobcr.2020.01.004. Epub 2020 Jan 24. PMID: 32025479.
5. Yehorov, R., Yakovenko, L., Primak, I. (2023). Paediatric Mandibular Fracture Management – A Seven Year Retrospective Study. *Annals of Maxillofacial Surgery*, 13(1), 44-48 doi: 10.4103/ams.ams\_158\_22.
6. Khairwa, A., Bhat, M., Sharma, A., Sharma, R. (2015). Management of Symphysis and Parasymphysis Mandibular Fractures in Children Treated with MacLennan

Splint: Stability and Early Results. *Int J Clin Pediatr Dent.*, 8(2), 127-132. doi: 10.5005/jp-journals-10005-1298.

7. Singhal, R., Singh, V., et al. (2013). Pediatric maxillofacial injuries- If a new look is required? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 77, 1333–1336. doi: 10.1016/j.ijporl.2013.05.028.

8. Sharma, A., Patidar, D.C., et al. (2019). Mandibular Fracture in Children: A New Approach for Management and Review of Literature. *Int J Clin Pediatr Dent.*, 12(4), 356–359 doi: 10.5005/jp-journals-10005-1643.

9. Pontell, M.E., Niklinska, E.B., Braun, S.A., Jaeger, N., Kelly, K.J., Golinko, M.S. (2022). Resorbable Versus Titanium Rigid Fixation for Pediatric Mandibular Fractures: A Systematic Review, Institutional Experience and Comparative Analysis. *Craniofac Trauma Reconstr*, 15(3), 189-200. doi: 10.1177/19433875211022573.

10. Shiju, M., Rastogi, S., Gupta, P., et al. (2015). Fractures of the mandibular condyle – open versus closed – a treatment dilemma. *J Cranio-Maxillofacial Surg.*, 43, 448e451. doi: 10.1016/j.jcms.2015.01.012

11. Zhou, W., An, J., He, Y., Zhang, Y. (2020). Analysis of pediatric maxillofacial trauma in North China: Epidemiology, pattern, and management. *Injury* 51(07),1561–1567 doi: 10.1016/j.injury.2020.04.053

12. Yesantharao, P.S., Lopez, J., Reategui, A., et al. (2020). Open Reduction, Internal Fixation of Isolated Mandible Angle Fractures in Growing Children. *J Craniofac Surg.*, 31(07), 1946–1950. doi: 10.1097/SCS.00000000000006892

13. Bilgen, F., Ural, A., Bekerecioğlu, M. (2019). Our Treatment Approach in Pediatric Maxillofacial Traumas. *J Craniofac Surg.*, 30(08), 2368–2371 doi: 10.1097/SCS.00000000000005896.

14. Choi, J.W., Kim, H.B., Jeong, W.S., Kim, S.C., Koh, K.S. (2019). Comparison Between Intermaxillary Fixation With Screws and an Arch Bar for Mandibular Fracture. *J Craniofac Surg.*, 30(6), 1787-1789 doi: 10.1097/SCS.00000000000005488.

15. Polizzi, A., Ronsivalle, V., Lo, Giudice A., Isola, G., Bianchi, A., Santonocito, S., Leonardi, R., Mummolo, S. (2023). Orthodontic Approaches in the Management of Mandibular Fractures: A Scoping Review. *Children (Basel)*. 10 (3), 605 doi: 10.3390/children10030605.

16. Roccia, F., Sobrero, F., Raveggi, E., Rabuffetti, A., Scolozzi, P. et al. (2023). European multicenter prospective analysis of the use of maxillomandibular fixation for mandibular fractures treated with open reduction and internal fixation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.*, 124(1S), 101376 doi: 10.1016/j.jormas.2022.101376.

17. Maloney, K.D., Rutner, T. (2019). Virtual Surgical Planning and Hardware Fabrication Prior to Open Reduction and Internal Fixation of Atrophic Edentulous Mandible Fractures. *Craniofac Trauma Reconstr.*, 12(2), 156-162. doi: 10.1055/s-0039-1677723.

18. Mittal, H.C., Yadav, S., Shekhawat, H. (2021). Conservative management of pediatric mandibular distal fractures-A retrospective study. *Dent Traumatol.*, 37(2), 321-329 doi: 10.1111/edt.12628.
19. Polizzi, A., Ronsivalle, V., Lo, Giudice, A., Isola, G., Bianchi, A., Santonocito, S., Leonardi, R., Mummolo, S. (2023). Orthodontic Approaches in the Management of Mandibular Fractures: A Scoping Review. *Children (Basel)*, 10(3), 605. doi: 10.3390/children10030605.
20. Panesar, K., Dodson, T., Lynch, J., Bryson-Cahn, C., Chew, L., Dillon, J. (2020). Evolution of COVID-19 Guidelines for University of Washington Oral and Maxillofacial Surgery Patient Care. *J Oral Maxillofac Surg.*, 78(7), 1136-1146. doi: 10.1016/j.joms.2020.04.034.
21. Kim, K., Ibrahim, AMS., Koolen, PGL., Lee, B.T., Lin, S.J. (2014). Trends in facial fracture treatment using the American College of Surgeons *National Surgical Quality Improvement Program database*. *Plast Reconstr Surg.*, 133(3), 627-638 doi: 10.1097/01.prs.0000438457.83345.e9.
22. Zhao, Y.M., Yang, J., Bai, R.C., Ge, L.H., Zhang, Y. (2014). A retrospective study of using removable occlusal splint in the treatment of condylar fracture in children. *J Craniomaxillofac Surg.*, 42(7), 1078-82 doi: 10.1016/j.jcms.2012.07.010.
23. Trupthi, D.V., Chowdhury, S., Shah, A., Singh, M. (2014). Treatment of Mandibular Fractures Using Intermaxillary Fixation and Vacuum Forming Splints: A Comparative Study. *J Maxillofac Oral Surg.*, 13(4), 519-24 doi: 10.1007/s12663-013-0573-9.
24. Tehranchi, A., Behnia, H., Younessian, F., Ghochani, M.S. (2013). Rapid, conservative, multidisciplinary miniscrew-assisted approach for treatment of mandibular fractures following plane crash. *Dent Res J (Isfahan)*, 10(5), 678-84. PMID: 24348629.
25. Xu, Y., Gong, S.G., Zhu, F., Li, M., Biao, X. (2016). Conservative orthodontic fixed appliance management of pediatric mandibular bilateral condylar fracture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 150(1), 181-7 doi: 10.1016/j.ajodo.2016.02.012.
26. Abosadegh, M.M., Saddki, N., Al-Tayar, B., Rahman, S.A. (2019). Epidemiology of Maxillofacial Fractures at a Teaching Hospital in Malaysia: A Retrospective Study. *Biomed Res Int.*, 13, 2019, 9024763 doi: 10.1155/2019/9024763.
27. Almahdi, H.M., Higzi, M.A. (2016). Maxillofacial fractures among Sudanese children at Khartoum Dental Teaching Hospital. *BMC Res Notes.*, 9, 120 doi: 10.1186/s13104-016-1934-5.
28. Miloro, M., Basi, D., Halpern, L., Kang, D. (2017). Patient Assessment. *J Oral Maxillofac Surg.*, 75(8S), e12-e33 doi: 10.1016/j.joms.2017.04.026.
29. Khan, T.U., Rahat, S., Khan, Z.A., Shahid, L., Banouri, S.S., Muhammad, N. (2022). Etiology and pattern of maxillofacial trauma. *PLoS One.*, 17(9), e0275515 doi: 10.1371/journal.pone.0275515.
30. Udeabor, S.E., Akinbami, B.O., Yarhere, K.S., Obiechina, A.E. (2014). Etiology, pattern of presentation, and treatment in university of port Harcourt teaching hospital, Port Harcourt, Nigeria. *J Dent Surg.*, 1(1), 15-9. Article ID 850814 <https://doi.org/10.1155/2014/850814>.
31. Teshome, A., Andualem, G., Tsegie, R., Seifu, S. (2017). Two years retrospective study of maxillofacial trauma at a tertiary center in North West Ethiopia. *BMC Res Notes.*, 10(1), 373 doi: 10.1186/s13104-017-2670-1.
32. Ghosh, R., Gopalkrishnan, K. (2018). Facial Fractures. *J Craniofac Surg.* 29(4), e334-e340 doi: 10.1097/SCS.0000000000004269.
33. Bonavolontà, P., Dell'avversana Orabona G., Abbate, V., Vaira, L.A., Lo, Faro C., Petrocelli, M., et al. (2017). The epidemiological analysis of maxillofacial fractures in Italy: The experience of a single tertiary center with 1720 patients. *J Craniomaxillofac Surg.*, 45(8), 1319-1326 doi: 10.1016/j.jcms.2017.05.011.