

## **PAEDIATRIC TRAUMA RELATED WITH ELECTRIC MICRO-MOBILITY DEVICES (REVIEW)**

Yuliia Z. KOTSIUBYNSKA , Nataliia M. KOZAN , Volodymyr M. VOLOSHYNOVYCH , Galina M. ZELENCHUK , Valeriia O. CHADIUK 

*Department of Forensic Medicine, Medical and Pharmaceuticals Law, Ivano-Frankivsk National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

### **Abstract**

It is known that micro-mobility has a positive impact by reducing congestion and emissions. However, with the increase in traffic of these vehicles, the number of related collisions and accidents has increased, and the number of injured and killed people, including children, has risen accordingly. The purpose of the review study was to conduct a comprehensive study of several issues related to the safety of using electric micro-mobility devices for both adults and children through a systematic literature review; to determine the forensic aspects of injuries to operators of electric micro-mobility devices and pedestrians, and to investigate the mechanism of injury.

A systematic, thematic bibliographic review was used to conduct this review study. The Scopus database was chosen as the main portal for searching for publications ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)). At the same time, a limited search in the Google Scholar database was used for original queries. The article highlights the aspects related to the safety of using electric micro-mobility devices for children and adults, the peculiarities of injuries, the statistical correlation between the frequency of injuries and the use of basic protective equipment, and the characteristic types of injuries for specific micro-mobility devices.

Despite all the work done, its results are mostly statistical and do not provide a holistic view of the mechanism of injury and forensic assessment of the consequences of injury. There is also an open issue related to the study of the peculiarities of injuries to operators and pedestrians, and the establishment of differential trauma criteria specific to operators and pedestrians.

### **Keywords**

Electric micro-mobility devices; Pediatric trauma; Vehicle injury; Traffic accident.

*Received 15 May 2023; accepted 22 June 2023*

### **Introduction**

The emergence of electric personal micro-mobility vehicles in the world can solve many problems related to the rational use of non-renewable energy sources, improve the environment, which is deteriorating every year, and can also have a positive impact on the economic stability of several countries. Since fuel cars are relics of the past and paradigms of smart planning for the development of modern society, there is a need to find ways to reform transport behavior, policies, and

infrastructure, which is one of the priorities of municipal policies around the world (Kowalczevska, Rzepczyk, Żaba, 2022; Stigson, Malakuti, Klingegård, 2021).

Recently, there has been a trend toward the rapid spread of electric personal micro-mobility vehicles in cities. However, some countries were not prepared for the rapid spread of electric low-speed micro-mobility vehicles from a legislative perspective: there are problems associated with finding a strategy for the adequate integration of this new type of electric transport

into the urban transport network, the settlement of road accidents involving these micro-mobility vehicles, the admission of persons to drive these vehicles (age restrictions, availability of personal protective equipment, state of alcohol intoxication, etc. In addition, in parallel with the rapid increase in the number of electric personal micro-mobility vehicles on the roads, the number of accidents involving the operation of these vehicles has steadily increased, and, accordingly, the number of injured persons has increased (Buongiorno et al., 2022; Gioldasis, Christoforou, Seidowsky, 2021; Groblewski, Pater, 2019; Traynor et al., 2022; Namiri, Lee, Amend, Vargo, Breyer, 2023).

The proliferation of electric personal micro-mobility devices is a phenomenon that is spreading rapidly in industrialized countries. Several factors have contributed to the rapid spread of these vehicles in European cities. The literature acknowledges the following reasons: their affordable cost, environmental friendliness, and flexibility of use, as well as the possibility of using them without a driver's license in European countries. The trend appeared in the early 2000s and quickly began to spread, solving some problems associated with urban mobility. Electric scooters, along with monowheels, gyroscopes, and segways, have become a part of urbanization. And due to the COVID-19 pandemic, such vehicles are conquering the world even more actively, including Ukrainian roads. More and more people want to move around cities, avoiding public transport and traffic congestion (Bekhit, Le Fevre, Bergin, 2020; Choron, Sakran, 2019).

Unfortunately, recently, news of accidents, an increase in injuries, and even fatalities involving e-vehicles have become more frequent. For example, according to the data of Henry Ford Health System, a non-profit healthcare organization, which has several medical centers and hospitals in Michigan (USA), since 2017, when e-scooter rental services became widespread, the number of neck and head injuries has been on the rise. They accounted for 28% of all cases of similar injuries registered in the US from 2009 to 2019. American researchers have identified a list of the most common injuries sustained by drivers of e-scooters and other types of e-transport: internal organ damage, including head injuries – 32%; concussions – 11%; fractures – almost 8%; bruises and abrasions – 15%; lacerations – 25% (Benhamed, Gosiome, Ndiaye, Tazarourte, 2022; Buongiorno et al., 2022).

Statistics show that accidents involving electric scooters occur due to numerous obstacles in the city: curbs, poles, and manhole covers. Injuries can also be caused by malfunctioning brakes and wheels. Often,

the distraction of an e-scooter driver leads to an accident involving other vehicles or pedestrians. All the above entails such a socially negative phenomenon as injuries and, in some cases, death of young working-age people (Cittadini, Aulino, Petrucci, Valentini, Covino, 2022; Harbrecht et al., 2022; Mukhtar, Ashraf, Frank, Steenburg, 2021).

Currently, among the various micro-mobility devices that are rapidly being integrated into the urban transport network, the most common is the electric scooter. This mode of transport seems to be a practical solution for those who travel short distances and is a convenient form of mobility. The electric scooter consists of two aligned wheels separated by a support platform with a front handlebar and has a display showing the speed, distance, and battery life. Brakes are integrated into the steering wheel and are usually disc brakes. Some models also have rear brakes that are activated by stepping on the wheel fender. This device works in a standing position and is a modern evolution of classic scooters with the addition of an electric motor (Harbrecht et al., 2022; Hardt, Bogenberger, 2019; Hollingsworth, Copeland, Johnson, 2019).

In this way, micro-mobility has a positive impact by reducing congestion and emissions. However, with the increase in traffic of these vehicles, the number of related collisions and accidents has increased, and the number of injured and killed people has risen accordingly (McKenzie, Fletcher, Nelson, Roberts, Klein, 2016; Nellamattathil, Amber, 2020; Trivedi et al., 2019; Kowalczywska, Rzepczyk, Kościński, Żaba, 2023; Bekhit, Le Fevre, Bergin, 2020). Accordingly, the number of criminal proceedings to investigate road traffic accidents involving new types of vehicles, such as electric scooters, electric bicycles, unicycles, and others, is also growing. At the same time, the requirements for the quality of investigation of this category of cases have also increased for forensic examinations (forensic, as well as complex forensic and transport and trace evidence). As practice shows, in addition to traditional issues, the answers to which are widely covered in the fundamental works of the last century, experts are faced with new questions caused by the technological features of modern vehicles and the emergence of new modes of transport (Mayhew, Bergin, 2019; Ptak et al., 2022; Gössling, 2020).

The purpose of the review study was as follows: through a systematic literature review, to conduct a comprehensive study related to the study of several issues related to the safety of using electric micro-mobility devices for both adults and children, to determine the forensic aspects of injuries to operators of electric micro-mobility devices and pedestrians, to

investigate the mechanism of injury. As of today, there are practically no comprehensive systematic studies of literature data related to injuries to both adults and children because of the use of electric micro-mobility devices, and most published research results are statistical in nature or a review of individual cases from practice.

## Materials and methods

A systematic, thematic bibliographic review was used to conduct this review study. The Scopus database was chosen as the main portal for searching for publications ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)). At the same time, a limited search in the Google Scholar database was used for original queries. In addition, we searched the bibliography of each article to include more studies related to the topic. A total of 1458 publications were analyzed. The sources studied were classified by their focus. The study included publications highlighting aspects related to the safety of using electric micro-mobility devices for children and adults, the peculiarities of injury, especially those that highlighted the mechanisms of injury to children.

## Results and discussion

To date, there are a few scientific papers covering the integration of light electric micro-mobility vehicles into the urban transport network (Blomberg, Rosenkrantz, Lippert, Christensen, 2019; Farley, 2020; Handy, Cao, Mokhtarian, 2005; Jiao, Bai, 2020), and assessing the positive and negative consequences of this integration (Aulino, Polacco, Fattoruso, Cittadini, 2022; Faraji et al., 2020; Störmann et al., 2020; Mitchell, Tsao, Randell, Marks, Mackay, 2019).

Research (Rix, Demchur, Zane, Brown, 2021) compared the frequency of injuries for riders of standing electric scooters and car drivers and found that the rate of injuries on electric scooters was about 175–200 times higher than that of car drivers. The authors also conducted a scientific study that helped to establish the following: the most common mechanism of injury was a fall from a scooter (84.7%) and collisions with cars (9.7%); head and face injuries were common among road accident victims (45.5%); 1.6% of victims stated that they were wearing personal protective equipment (helmet) at the time of injury. As a result of the study, the authors came to the following conclusion, that the use of electric scooters is associated with a wide range of potentially serious injuries that consume significant

resources in emergency departments and hospitals (English et al., 2020).

Investigation (Ishmael et al., 2020) conducted a study to investigate the mechanism of injury and the specifics of bodily injuries caused by the operation of electric scooters. According to the authors, despite the prevalence of literature on the issues of electric scooter operation, the mechanisms of injury formation in participants of road accidents involving electric scooters remain insufficiently studied. The purpose of this study was to describe the specifics of injury formation associated with the operation of electric scooters. During the study period, 75 injuries requiring surgical interventions were detected in 73 people. The average age of patients was 35.4 years (range 14 to 74 years), and the median age was 32 years. The study group included 4 pediatric patients (14, 15, 15 and 17 years old). 32 patients (43.8%) had upper limb injuries, 42 patients (57.5%) had lower limb injuries; 1 of these patients had a combined upper and lower limb injury. 9 patients (12.3%) had open fractures. There were 7 hip fractures in patients with a mean age of 42.4 years (range 28 to 68 years). It was also found that 71 (97.3%) of the 73 patients were e-scooter drivers, and 2 (2.7%) were pedestrians who were hit by an e-scooter.

The authors concluded that e-scooters can cause serious injuries and that as the popularity of e-scooters continues to grow, additional measures should be taken to regulate their use and protect riders.

Also worthy of note is the work of American scholars (Trivedi et al., 2019), who, using a retrospective cohort review of the medical records of all patients with electric scooter-related injuries between 1 September 2017 and 31 August 2018 in southern California, established the impact of passive protective equipment (use of a helmet) on the risk of injury, also established the impact of alcohol intoxication on the risk of injury, and the percentage of the nature of the injury.

However, despite the whole range of data provided, the problem associated with the study of forensic aspects of injuries sustained because of the use of electric scooters by children is currently poorly understood (Coelho et al., 2021; Cohen, Geller, Yang, Allegra, Dodds, 2021; Kobayashi et al., 2019; Morgan et al., 2022).

Along with the growing popularity of electric scooters in the transport market, there has been an increase in the number of personal injuries related to the use of electric scooters. Statistics show that the number of accidents involving electric scooters is growing rapidly. For example, the number of accidents involving e-scooters in Sweden has increased dramatically

since the introduction of e-scooters in Swedish cities in 2018 (Störmann et al., 2020). Around the world, there is also a similar trend in the number of injuries related to the use of personal electric mobility devices. Several studies conducted in the US in 2020 and 2021 have documented an upward trend in the number of accidents involving e-scooters (Cicchino, Kulie, McCarthy, 2021; Vernon et al., 2020).

The easy and affordable operation has made electric personal mobility devices popular not only among adults but also among children, especially teenagers. A child using electric micro-mobility devices hardly moves and must mostly keep his or her balance. It is worth noting that this type of transport can reach a high speed and falling from it occurs from a full height from a standing position, which can lead to serious injury to children. Therefore, forensic experts are facing new challenges related to the study of complex injuries in children because of the operation of electric personal micro-mobility devices, the mechanism of their formation, and the study of identification features characteristic of the operator of this vehicle and the pedestrian.

There is virtually no literature on injuries and deaths of children during the use of electric micro-mobility devices, especially forensic aspects of injuries (Sanders et al., 2005; Schapiro, Lall, Anton, Trout, 2017).

The work of British scientists is available for study (Morgan et al., 2022), which highlights the state of the problem of children's injuries caused using electric scooters. The authors sought to assess whether e-scooters pose a danger to children and to determine the nature and severity of orthopedic injuries associated with their use. The study concluded that electric scooters pose a significant risk to children and can cause serious injuries to the musculoskeletal system.

A retrospective observational study of injuries related to electric scooters was conducted by Spanish scientists (Coelho et al., 2021). It was found that from May 2019 to May 2020, 397 patients were identified with a total of 422 injuries sustained during the operation of electric scooters. The authors did not differentiate between adults and children but noted that 12.6% of the injured were minors. In this study, many injuries were caused by falling from an electric scooter. Almost half of these injuries were upper limb fractures. Of the total number of injuries, 46.9% were fractures. Approximately 25% of cases required surgery. Only 19% of drivers were wearing helmets at the time of the accident. Fractures of the upper extremities accounted for the largest number of fractures (62.6%), namely, fractures of the radius. The publication notes that due to the high prevalence of accidents involving electric

scooters in Spain, in 2017, an attempt was made to regulate the use of electric scooters at the state level (only drivers over 16 years old are allowed to drive an electric scooter in public places, in addition, lights, a helmet and a bell must be used, and the maximum permitted speed is limited to 30 km/h). Any violation is punishable by a fine of up to EUR 500, depending on the severity of the violation. Because of the above, European countries are beginning to make attempts to regulate the operation of electric micro-mobility vehicles, which is due to a few socially negative consequences caused using these vehicles for movement.

Electric scooters are high-energy vehicles that not only share lanes with other vehicles such as bicycles, motorcycles, or cars but also sidewalks with pedestrians due to the lack of regulations for the operation of electric micro-mobility vehicles in many parts of the world. In addition, the thickness of the wheels makes e-scooters vulnerable to various obstacles on the road, which can lead to falls. According to the literature, the upper extremities are more often injured, but injuries to the lower extremities are much more severe and often require surgical intervention. Injuries to the lower extremities may be related to the speed of the electric scooter during an accident (the higher the speed, the less time the operator must orientate himself and use his upper limbs to absorb the fall) (Störmann et al., 2020).

Another popular personal mobility gadget among children is the hoverboard. This self-balancing personal micro-mobility gadget was introduced to the market in 2015 and quickly became one of the most popular electric mobility devices. Like similar micro-mobility devices, this gadget, in addition to several advantages, cause many problems associated with injuries to both adults and children.

The problem of injuries to children when using a hoverboard was studied (Siracuse et al., 2017). During the 5-year study period, the authors recorded 47,277 cases of injuries related to the use of hoverboards. The work of scientists is statistical. The authors found that in 2015, there was an increase in the number of injuries related to the use of gyroboards, which is likely to be associated with the peak of their popularity among the population and was on average 28% higher compared to the sample for the previous 4 years. It was also found that the most common injuries were the forearm (47.5%), lower leg (17.8%) and head and neck (18.6%). The most common type of injury in 2015 was fractures, most often located in the shoulder and hand (38.9%).

Several literature sources state that the most common injury among children operating gyroboards is



a specific fracture of the distal phalanges of the fingers (Seymour fracture; Kattan et al., 2017; Schapiro et al., 2017; Sobel, Reid, Blood, Daniels, Cruz, 2017).

Retrospective analysis (Kattan et al., 2017) revealed a number of children's injuries in the form of a fracture of the distal phalanges of the fingers (Seymour fracture), which occurred when using hoverboards. The review period was from December 2015 to October 2016. The paper argues that in 90 percent of cases of injury, children were under the age of 14. In addition, children under the age of 8 account for a third of all injuries related to the use of hoverboards. The authors note that the most common injury for gyroboard operators is a hand and forearm injury. In the study sample, children were sitting on a gyroboard. Among the injured, 38.5% of patients had Seymour's juxta-epiphyseal fracture, and the rest had Salter-Harris fracture (damage to the growth plate area of the child's bone). The authors established the following mechanism of injury: the weight of the child sitting on the gyroboard pushes the device forward, and the fingers are caught between the parts of the wheel. The fracture of the finger trapped between the wheel and the wheel rim was caused by hyperextension. The most common injury was to the middle finger (46.2% of cases among the sample of injured children). The article notes that most often children were injured due to non-compliance with the rules of operation of hoverboards.

If we consider the results of scientific studies published in recent years, we can conclude that another common injury among children associated with hoverboards accidents is craniofacial trauma (Bandzar, Funsch, Hermansen, Gupta, Bandzar, 2018; McGalliard, Hallam, Townley, Messahel, Durand, 2022; Robinson, Agarwal, Chaudhary, Costello, Simon, 2016; Stanbouly, Chuang, 2021; Wu, Lee, Hsiung, Karlis, 2020). The literature provides examples of craniocerebral-facial trauma, which is represented by bruising of the soft tissues of the head with abrasions and lacerations, fractures of the bones of the face and skull vault, traumatic tooth extraction, concussion, and brain contusion. However, in most cases, injuries to children could have been prevented by using basic safety equipment and following the rules for operating gyroboards (Aizpuru et al., 2019; Prigozen et al., 2006).

Electric bicycles are widely used lightweight electric vehicles that are a convenient and attractive form of urban transport. Electric bicycles are currently the most common electric transport in the world. There is no single, unified legislation on electric bicycles in the world, no age limit, and no restrictions on the power

and speed of electric bicycles (Hermon et al., 2020; Karepov et al., 2019).

Electric bicycles are increasingly being used by all age groups. Children who ride e-bikes often do not use basic safety equipment (helmets) and are therefore at increased risk of injury. The most common type of injury among children's e-bike riders is head and neck injuries (Karepov et al., 2019; Siman-Tov, Radomislensky, Peleg, 2017).

The literature available for the study includes publications that describe cases of injuries related to the use of electric bicycles, both among direct users and pedestrians, both adults and children (Du et al., 2014; Gross, Weiss, Eliasi, Bala, Hashavya, 2018; Hu, Lv, Zhu, Fang, 2014; Benhamed, Gossiome, Ndiaye, Tazarourte, 2022). It is noted that children account for 35% of the total number of injuries sustained on e-bikes, mainly resulting in head and neck injuries, possibly due to their larger head size and head weight to body weight ratio (Gross et al., 2018; Hermon et al., 2020). Compared to conventional cyclists, e-bike riders experience more accidents (falling off the bike, collisions with static objects or other moving vehicles, pedestrians) at higher collision speeds (Gross et al., 2018; Weber, Scaramuzza, Schmitt, 2014). These studies suggest that injuries associated with e-bike use may involve more severe injuries and have injury patterns like those seen in motorcycle-related injuries compared to those on conventional bicycles (Karepov et al., 2019).

As the use of electric bicycles among children under the age of 18 is growing rapidly around the world and is becoming a significant source of road accidents (Avrahamov-Kraft, Yulevich, Sweed, 2022) have done a comparative analysis of the mechanism of injury and the severity of injuries in children riding electric bicycles and conventional bicycles. Of the 561 children, 197 (35%) rode electric bicycles and 364 (65%) rode conventional bicycles. The authors calculated the injury severity score (ISS) and found that e-bike riders had a significantly higher ISS than conventional cyclists (mean  $4.08 \pm 4.67$  and  $3.16 \pm 2.84$ , respectively,  $p = 0.012$ ). The rate of crashes involving motorized vehicles was higher in the e-bike group compared to conventional bicycles (25.9 vs. 11.3%,  $p < 0.001$ ). The most common type of injury in both groups was head injury, although more common in the conventional cyclist group, it was less common in the e-bike group. The study also found that lower limb injuries were more common in e-bike riders compared to conventional cyclists (55.8 and 37.6%, respectively,  $p < 0.001$ ).

However, despite the amount of work done, the results in most cases are statistical and do not provide a holistic view of the mechanism of injury and forensic assessment of the consequences of injury. The issue of studying the peculiarities of driver and pedestrian injuries and establishing differential trauma criteria for drivers and pedestrians remains open.

The rapid increase in the use of modern electric vehicles on the roads, as well as cases of injuries related to this, initiates the emergence of new expert tasks arising during forensic examinations of this injury and outlines new prospects for studying this problem in the context of forensic medicine.






## References

1. Aizpuru, M., Farley, K. X., Rojas, J. C., Crawford, R. S., Moore Jr, T. J., Wagner, E. R. (2019). Motorized scooter injuries in the era of scooter-shares: a review of the national electronic surveillance system. *The American Journal of Emergency Medicine*, 37(6), 1133–1138. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.049>
2. Aulino, G., Polacco, M., Fattoruso, V., Cittadini, F. (2022). A cranio-encephalic trauma due to electric-scooter accident: could the wearing of a helmet reduce this risk? *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 18(3), 264–268. <https://doi.org/10.1007/s12024-022-00477-2>
3. Avrahamov-Kraft, E., Yulevich, A., Sweed, Y. (2022). Pediatric electrical bicycle road accidents. *European Journal of Pediatric Surgery*, 32(1), 120–126. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1741545>
4. Bandzar, S., Funsch, D. G., Hermansen, R., Gupta, S., Bandzar, A. (2018). Pediatric hoverboard and skateboard injuries. *Pediatrics*, 141(4). <https://doi.org/10.1542/peds.2017-1253>
5. Bekhit, M. N. Z., Le Fevre, J., Bergin, C. J. (2020). Regional healthcare costs and burden of injury associated with electric scooters. *Injury*, 51(2), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.026>
6. Benhamed, A., Gossiome, A., Ndiaye, A., Tazarourte, K. (2022). Characteristics and comparison between e-scooters and bicycle-related trauma: a multicentre cross-sectional analysis of data from a road collision registry. *BMC Emergency Medicine*, 22(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12873-022-00719-0>
7. Blomberg, S. N. F., Rosenkrantz, O. C. M., Lippert, F., Christensen, H. C. (2019). Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. *BMJ Open*, 9(12), e033988. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033988>
8. Buongiorno, L., Stellacci, A., Cazzato, G., Caricato, P., Luca, B. P. D., Tarantino, F., Marrone, M. (2022). Slow and steady wins the race: a comparative analysis of standing electric scooters' European regulations integrated with the aspect of forensic traumatology. *Sustainability*, 14(10), 6160. <https://doi.org/10.3390/su14106160>
9. Cicchino, J. B., Kulie, P. E., McCarthy, M. L. (2021). Severity of e-scooter rider injuries associated with trip characteristics. *Journal of Safety Research*, 76. <https://doi.org/256-261>. [10.1016/j.jsr.2020.12.016](https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.12.016)
10. Coelho, A., Feito, P., Corominas, L., Sánchez-Soler, J. F., Pérez-Prieto, D., Martínez-Díaz, S., Alier, A., Monllau, J. C. (2021). Electric scooter-related injuries: a new epidemic in orthopedics. *Journal of Clinical Medicine*, 10(15). <https://doi.org/3283>. [10.3390/jcm10153283](https://doi.org/10.3390/jcm10153283)
11. Cohen, L. L., Geller, J. S., Yang, B. W., Allegra, P. R., Dodds, S. D. (2021). Pediatric injuries related to electric scooter use: a national database review. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 31(2), e241–e245. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000879>
12. Du, W., Yang, J., Powis, B., Zheng, X., Ozanne-Smith, J., Bilston, L., Wu, M. (2014). Epidemiological profile of hospitalised injuries among electric bicycle riders admitted to a rural hospital in Suzhou: a cross-sectional study. *Injury Prevention*, 20(2), 128–133. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2012-040618>
13. English, K. C., Allen, J. R., Rix, K., Zane, D. F., Ziebell, C. M., Brown, C. V., Brown, L. H. (2020). The characteristics of dockless electric rental scooter-related injuries in a large US city. *Traffic Injury Prevention*, 21(7), 476–481. <https://doi.org/10.1080/15389588.2020.1804059>
14. Faraji, F., Lee, J. H., Faraji, F., MacDonald, B., Oviedo, P., Stuart, E., Hom, D. B. (2020). Electric scooter craniofacial trauma. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 5(3), 390–395. <https://doi.org/10.1002/lio2.380>
15. Farley, K. X., Aizpuru, M., Wilson, J. M., Daly, C. A., Xerogeanes, J., Gottschalk, M. B., Wagner, E. R. (2020). Estimated incidence of electric scooter injuries in the US from 2014 to 2019. *JAMA Network Open*, 3(8), e2014500–e2014500. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.14500>
16. Gioldasis, C., Christoforou, Z., Seidowsky, R. (2021). Risk-taking behaviors of e-scooter users: a survey in Paris. *Accident Analysis & Prevention*, 163, 106427. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106427>
17. Groblewski, M., Pater, M. (2019). Status prawny hulajnog elektrycznych i ich użytkowników – projektowane rozwiązania i wzorce zagraniczne. *Internetowy Kwartalnik Antymonopolowy i Regulacyjny*, 5(8), 180–192.
18. Gross, I., Weiss, D. J., Eliasi, E., Bala, M., Hashavya, S. (2018). E-bike-related trauma in children and adults. *The Journal of Emergency Medicine*, 54(6), 793–798. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.12.012>

19. Gössling, S. (2020). Integrating e-scooters in urban transportation: problems, policies, and the prospect of system change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102230. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102230>
20. Handy, S., Cao, X., Mokhtarian, P. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(6), 427–444. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.05.002>
21. Harbrecht, A., Hackl, M., Leschinger, T., Uschok, S., Wegmann, K., Eysel, P., Müller, L. P. (2022). What to expect? Injury patterns of electric-scooter accidents over a period of one year – a prospective monocentric study at a Level 1 Trauma Center. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 32(4), 641–647. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03014-z>
22. Hardt, C., Bogenberger, K. (2019). Usage of e-scooters in urban environments. *Transportation Research Procedia*, 37, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.178>
23. Hermon, K., Capua, T., Glatstein, M., Scolnik, D., Tavor, O., Rimon, A. (2020). Pediatric electric bicycle injuries: the experience of a large urban tertiary care pediatric hospital. *Pediatric Emergency Care*, 36(6), e343–e345. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001395>
24. Hollingsworth, J., Copeland, B., Johnson, J. X. (2019). Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environmental Research Letters*, 14(8), 084031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>
25. Hu, F., Lv, D., Zhu, J., Fang, J. (2014). Related risk factors for injury severity of e-bike and bicycle crashes in Hefei. *Traffic Injury Prevention*, 15(3), 319–323. <https://doi.org/10.1080/15389588.2013.817669>
26. Ishmael, C. R., Hsiue, P. P., Zoller, S. D., Wang, P., Hori, K. R., Gatto, J. D., Bernthal, N. M. (2020). An early look at operative orthopaedic injuries associated with electric scooter accidents: bringing high-energy trauma to a wider audience. *JBJS*, 102(5), e18. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00390>
27. Jiao, J., Bai, S. (2020). Understanding the shared e-scooter travels in Austin, TX. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 135. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020135>
28. Karepov, Y., Kozyrev, D. A., Benifla, M., Shapira, V., Constantini, S., Roth, J. (2019). E-bike-related cranial injuries in pediatric population. *Child's Nervous System*, 35, 1393–1396. <https://doi.org/10.1007/s00381-019-04146-8>
29. Kattan, A. E., AlShomer, F., Alhujayri, A. K., Alfowzan, M., Murrad, K. A., Alsajjan, H. (2017). A case series of pediatric seymour fractures related to hoverboards: increasing trend with changing lifestyle. *International Journal of Surgery Case Reports*, 38, 57–60. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2017.06.058>
30. Kobayashi, L. M., Williams, E., Brown, C. V., Emigh, B. J., Bansal, V., Badiee, J., Doucet, J. (2019). The e-merging e-pidemic of e-scooters. *Trauma Surgery & Acute Care Open*, 4(1), e000337. <http://orcid.org/0000-0002-9063-0908>
31. Kowalczywska, J., Rzepczyk, S., Żaba, C. (2022). E-scooters and the city – head to toe injuries. *Journal of Medical Science*, 91(2), e672–e672. <https://doi.org/10.20883/medical.e672>
32. Kowalczywska, J., Rzepczyk, S., Kościński, J., Żaba, C. (2023). Severe craniocerebral injury after e-scooter accidents in winter. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 69(1). <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.899>
33. Mayhew, L. J., Bergin, C. (2019). Impact of e-scooter injuries on emergency department imaging. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, 63(4), 461–466. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12889>
34. McGalliard, R., Hallam, K., Townley, S., Messahel, S., Durand, C. L. (2022). Two-year paediatric trauma centre analysis of electric scooter injuries. *Archives of Disease in Childhood*, 107(11), 1061–1062. <http://dx.doi.org/10.1136/archdischild-2022-324213>
35. McKenzie, L. B., Fletcher, E., Nelson, N. G., Roberts, K. J., Klein, E. G. (2016). Epidemiology of skateboarding-related injuries sustained by children and adolescents 5–19 years of age and treated in US emergency departments: 1990 through 2008. *Injury Epidemiology*, 3, 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40621-016-0075-6>
36. Mitchell, G., Tsao, H., Randell, T., Marks, J., Mackay, P. (2019). Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme. *Emergency Medicine Australasia*, 31(6), 930–934. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.13356>
37. Morgan, C., Morgan, R., Dela Cruz, N. J. M. V., Ng Man Sun, S., Sarraf, K. M. (2022). Pediatric electric scooter injuries in the UK: Case series and review of literature. *Traffic Injury Prevention*, 23(6), 369–371. <https://doi.org/10.1080/15389588.2022.2084540>
38. Mukhtar, M., Ashraf, A., Frank, M. S., Steenburg, S. D. (2021). Injury incidence and patterns associated with electric scooter accidents in a major metropolitan city. *Clinical Imaging*, 74, 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.02.005>
39. Namiri, N. K., Lee, A. W., Amend, G. M., Vargo, J., Breyer, B. N. (2023). Impact of alcohol and drug use on bicycle and electric scooter injuries and hospital admissions in the United States. *Trauma*, 25(1), 53–61. <https://doi.org/10.1177/1460408621104435>
40. Nellamattathil, M., Amber, I. (2020). An evaluation of scooter injury and injury patterns following widespread adoption of E-scooters in a major metropolitan area. *Clinical Imaging*, 60(2), 200–203. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2019.12.012>

41. Prigozen, J. M., Horswell, B. B., Flaherty, S. K., Henderson, J. M., Graham, D. A., Armistead, L. M., Habib, J. H., Lukowski, D. E. (2006). All-terrain vehicle-related maxillofacial trauma in the pediatric population. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 64(9), 1333–1337. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2006.05.014>
42. Ptak, M., Fernandes, F. A., Dymek, M., Welter, C., Brodziński, K., Chybowski, L. (2022). Analysis of electric scooter user kinematics after a crash against SUV. *PLoS One*, 17(1), e0262682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262682>
43. Rix, K., Demchur, N. J., Zane, D. F., Brown, L. H. (2021). Injury rates per mile of travel for electric scooters versus motor vehicles. *The American Journal of Emergency Medicine*, 40, 166–168. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.10.048>
44. Robinson, T., Agarwal, M., Chaudhary, S., Costello, B. E., Simon, H. K. (2016). Pediatric hoverboard injuries: a need for enhanced safety measures and public awareness. *Clinical Pediatrics*, 55(11), 1078–1080. <https://doi.org/10.1177/0009922816664066>
45. Sanders, M. B., Starr, A. J., Frawley, W. H., McNulty, M. J., Niaccaris, T. R. (2005). Posttraumatic stress symptoms in children recovering from minor orthopaedic injury and treatment. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 19(9), 623–628. <https://doi.org/10.1097/01.bot.0000174709.95732.1b>
46. Schapiro, A. H., Lall, N. U., Anton, C. G., Trout, A. T. (2017). Hoverboards: spectrum of injury and association with an uncommon fracture. *Pediatric Radiology*, 47, 437–441. <https://doi.org/10.1007/s00247-016-3766-9>
47. Siman-Tov, M., Radomislensky, I., Israel Trauma Group, Peleg, K. (2017). The casualties from electric bike and motorized scooter road accidents. *Traffic Injury Prevention*, 18(3), 318–323. <https://doi.org/10.1080/15389588.2016.1246723>
48. Siracuse, B. L., Ippolito, J. A., Gibson, P. D., Beebe, K. S. (2017). Hoverboards: a new cause of pediatric morbidity. *Injury*, 48(6), 1110–1114. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.03.028>
49. Sobel, A. D., Reid, D. B., Blood, T. D., Daniels, A. H., Cruz Jr, A. I. (2017). Pediatric orthopedic hoverboard injuries: a prospectively enrolled cohort. *The Journal of Pediatrics*, 190, 271–274. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.07.041>
50. Stanbouly, D., Chuang, S. K. (2021). Pogo-sticks and maxillofacial injuries: a review of 619 head and neck injuries. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(10), 2115–2122. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2021.05.030>
51. Stigson, H., Malakuti, I., Klingegård, M. (2021). Electric scooters accidents: analyses of two Swedish accident data sets. *Accident Analysis & Prevention*, 163, 106466. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106466>
52. Störmann, P., Klug, A., Nau, C., Verboket, R. D., Leiblein, M., Müller, D., Schweigkofler, U., Hoffmann, R., Marzi, I., Lustenberger, T. (2020). Characteristics and injury patterns in electric-scooter related accidents – a prospective two-center report from Germany. *Journal of Clinical Medicine*, 9(5), 1569. <https://doi.org/10.3390/jcm9051569>
53. Traynor Jr, M. D., Lipsitz, S., Schroeder, T. J., Zielinski, M. D., Rivera, M., Hernandez, M. C., Stephens, D. J. (2022). Association of scooter-related injury and hospitalization with electronic scooter sharing systems in the United States. *The American Journal of Surgery*, 223(4), 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2021.06.006>
54. Trivedi, T. K., Liu, C., Antonio, A. L. M., Wheaton, N., Kreger, V., Yap, A., Elmore, J. G. (2019). Injuries associated with standing electric scooter use. *JAMA Network Open*, 2(1), e187381–e187381. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.7381>
55. Vernon, N., Maddu, K., Hanna, T. N., Chahine, A., Leonard, C. E., Johnson, J. O. (2020). Emergency department visits resulting from electric scooter use in a major southeast metropolitan area. *Emergency Radiology*, 27, 469–475. <https://doi.org/10.1007/s10140-020-01783-4>
56. Weber, T., Scaramuzza, G., Schmitt, K. U. (2014). Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.020>
57. Wu, B. W., Lee, K. C., Hsiung, M. W., Karlis, V. (2020). What are the predictors of craniomaxillofacial injuries from hoverboard accidents? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 78(11), 2027–2031. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2020.03.033>

#### ORCID

Yuliia Zinoviivna Kotsiubynska  0000-0001-6350-1791  
 Nataliia Mykolaivna Kozan  0000-0003-1017-5077  
 Volodymyr Myroslavovych Voloshynovych  0000-0003-1018-0933  
 Galina Myroslavivna Zelenchuk  0000-0002-8618-9224  
 Valeriia Oleksandrivna Chadiuk  0000-0001-7392-7905

#### Corresponding author

Assoc. Prof. Yuliia Zinoviivna Kotsiubynska  
 Department of Forensic Medicine, Medical and  
 Pharmaceutical Law, IFNMMU  
 76000 st. Halytska, 2  
 Ivano-Frankivsk, Ukraine  
 e-mail: kotsyubynskayz@gmail.com



## URAZY U DZIECI ZWIĄZANE Z ELEKTRYCZNYMI URZĄDZENIAMI DO MIKROMOBILNOŚCI (PRZEGLĄD)

### Wstęp

Ogólnoświatowe upowszechnienie elektrycznych urządzeń do mikromobilności może potencjalnie rozwiązać wiele problemów dotyczących racjonalnego wykorzystania nieodnawialnych źródeł energii, poprawić pogarszający się z roku na rok stan środowiska naturalnego, a także wpłynąć pozytywnie na stabilność gospodarczą niektórych krajów. Pojazdy spalinowe, stając się przeżytkiem, pozostają jednak wciąż ważną częścią inteligentnego planowania rozwoju współczesnego społeczeństwa, istnieje zatem potrzeba znalezienia sposobów na zreformowanie infrastruktury, zachowań i polityki transportowej na całym świecie (Kowalczevska, Rzepczyk, Żaba, 2022; Stigson, Malakuti, Klingegård, 2021).

Liczba urządzeń do mikromobilności o napędzie elektrycznym w miastach wykazuje znaczącą tendencję wzrostową. Niektóre kraje okazały się jednak nieprzygotowane na to zjawisko pod względem prawnym: trudności dotyczą opracowania strategii odnoszącej się do integracji nowych pojazdów elektrycznych z istniejącą siecią transportową, rozliczania wypadków drogowych z ich udziałem, a także wydawania uprawnień do poruszania się nimi (ograniczenia wiekowe, dostępność sprzętu ochronnego, stan upojenia alkoholem itd.). Dodatkowo rosnąca liczba elektrycznych urządzeń do mikromobilności na drogach przekłada się na stały wzrost liczby wypadków z ich udziałem, wraz z którym rośnie też liczba osób poszkodowanych (Buongiorno i in., 2022; Gioldasis, Christoforou, Seidowsky, 2021; Groblewski, Pater, 2019; Traynor i in., 2022; Namiri, Lee, Amend, Vargo, Breyer, 2023).

Elektryczne pojazdy do mikromobilności rozprzestrzeniają się w szybkim tempie w krajach zindustrializowanych. Na zjawisko to w miastach europejskich wpływa kilka czynników, wśród których literatura naukowa wymienia: niską cenę takich pojazdów, a także ich ekologiczność, wszechstronność oraz możliwość poruszania się nimi bez posiadania prawa jazdy w krajach europejskich. Trend ten pojawił się we wczesnych latach dwutysięcznych i szybko się rozpowszechnił, rozwiązując tym samym niektóre problemy związane z transportem miejskim. Hulajnogi elektryczne, a także rowery jednośladowe oraz urządzenia typu *grobboard* i *segway*, stały się już częścią miejskiego krajobrazu. Co więcej, pandemia koronawirusa jeszcze bardziej przyspieszyła podbój świata przez urządzenia do mikromobilności, które można zobaczyć między innymi na ukraińskich drogach. Coraz więcej osób chce omijać transport publiczny i korki,

poruszając się po mieście (Bekhit, Le Fevre, Bergin, 2020; Choron, Sakran, 2019).

Niestety, wraz z rosnącą popularnością pojazdów elektrycznych rośnie liczba wypadków z ich udziałem i coraz więcej osób odnosi w nich obrażenia, a nawet ginie. Przykładowo według danych amerykańskiego dostawcy usług zdrowotnych Henry Ford Health, właściciela kilku centrów medycznych i szpitali w stanie Michigan, liczba urazów szyi i głowy stale wzrasta od roku 2017, kiedy to upowszechnił się wynajem e-hulajnog. Przypadki te stanowiły 28% wszystkich urazów tego typu zarejestrowanych w USA w latach 2009–2019. Amerykańscy badacze opracowali listę najczęstszych urazów odnoszonych przez użytkowników e-hulajnog i innych pojazdów elektrycznych: uszkodzenia narządów wewnętrznych, w tym urazy głowy – 32%, wstrząśnienia mózgu – 11%, złamania – prawie 8%, siniaki i otarcia – 15%, rany szarpane – 25% (Benhamed, Gossio, Ndiaye, Tazarourte, 2022; Buongiorno i in., 2022).

Statystyki pokazują, że przyczyną wypadków z udziałem e-hulajnog jest istnienie licznych przeszkód w miastach, takich jak krawężniki, słupy czy pokrywy studzienek kanalizacyjnych. Kontuzje mogą też być skutkiem awarii hamulców lub kół. Nieuwaga kierujących e-hulajnogami prowadzi do wypadków z udziałem innych pojazdów bądź pieszych. Wszystkie wymienione czynniki przekładają się na niepożądane zjawisko w postaci urazów, a czasem nawet śmierci, często wśród młodych ludzi w wieku produkcyjnym (Cittadini, Aulino, Petrucci, Valentini, Covino, 2022; Harbrecht i in., 2022; Mukhtar, Ashraf, Frank, Steenburg, 2021).

Spośród różnych urządzeń do mikromobilności, szybko integrujących się z siecią transportu miejskiego, najczęściej spotykanym jest hulajnoga elektryczna (e-hulajnoga). Jest to praktyczne rozwiązanie dla osób przemieszczających się na małe odległości, a także wygodny środek transportu osobistego. E-hulajnoga składa się z dwóch kół ułożonych w jednej linii, oddzielonych platformą wyposażoną z przodu w kierownicę oraz ekran pokazujący prędkość, odległość i stan naładowania akumulatora. Hamulce, przeważnie tarczowe, są zespolone z kierownicą. Niektóre modele są też wyposażone w hamulce tylne, które kierowca uruchamia, stawiając stopę na błotnik koła. Urządzenie działa w pozycji pionowej i stanowi współczesną ewolucję klasycznej hulajnogii rozbudowanej o silnik elektryczny (Harbrecht i in., 2022; Hardt, Bogenberger, 2019; Hollingsworth, Copeland, Johnson, 2019).

Wdrożenie mikromobilności przynosi korzyści w postaci zmniejszenia korków i spadku emisji

zanieczyszczeń. Jednak wraz ze wzrostem liczby takich urządzeń wzrosła też liczba kolizji i wypadków z ich udziałem, a proporcjonalnie do nich – liczba osób rannych i zabitych (McKenzie, Fletcher, Nelson, Roberts, Klein, 2016; Nellamattathil, Amber, 2020; Trivedi i in., 2019; Kowalczywska, Rzepczyk, Kościński, Żaba, 2023; Bekhit, Le Fevre, Bergin, 2020). Tym samym wzrasta też liczba spraw dotyczących wypadków drogowych z udziałem nowych typów pojazdów, takich jak hulajnogi i rowery elektryczne czy rowery jednokołowe. Jednocześnie zwiększyły się wymagania dotyczące jakości opinii związanych z takimi przypadkami, w tym jakości kompleksowych badań kryminalistycznych, badań środków transportu oraz śladów. Praktyka dowodzi, że oprócz typowych zagadnień dogłębnie opisanych w najważniejszych pracach ostatniego stulecia specjaliści z zakresu kryminalistyki muszą też znajdować odpowiedzi na niestawiane dotąd pytania wynikające z charakterystyki technicznej współczesnych pojazdów i nowych środków transportu (Mayhew, Bergin, 2019; Ptak i in., 2022; Gössling, 2020).

Cele niniejszej pracy przeglądowej są następujące: na podstawie metodycznego przeglądu literatury naukowej przedstawić wyczerpujący wgląd w kilka zagadnień związanych z kierowaniem urządzeniami do mikromobilności przez dzieci i dorosłych, ustalić ważne z kryminalistycznego punktu widzenia aspekty urazów odniesionych przez kierowców i pieszych oraz zbadać mechanizmy ich powstawania. Praktycznie nie ma bowiem obecnie dogłębnych, systematycznych przeglądów danych literaturowych odnoszących się do urazów u dzieci i dorosłych w związku z użytkowaniem urządzeń do mikromobilności, a większość publikowanych wyników ma charakter badań statystycznych bądź analizy pojedynczych przypadków od strony praktycznej.

## Material i metody

Praca powstała na podstawie metodycznego, tematycznego przeglądu literatury. Jako główną platformę do wyszukiwania publikacji wybrano bazę danych Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)). W ograniczonym zakresie (do zapytań oryginalnych) korzystano równolegle z bazy danych Google Scholar. Przeszukiwano też piśmiennictwo zamieszczone w każdym znalezionym artykule w celu natrafienia na inne publikacje związane z tematem przeglądu. Łącznie przeanalizowano 1458 publikacji. Badane źródła sklasyfikowano na podstawie ich głównej tematyki. W pracy analizowano publikacje skupiające się na bezpieczeństwie prowadzenia elektrycznych urządzeń do mikromobilności przez dzieci i dorosłych oraz na specyfice urazów, w szczególności prace omawiające mechanizmy powstawania urazów u dzieci.

## Wyniki i dyskusja

Dotychczas opublikowano kilka artykułów naukowych dotyczących integracji lekkich elektrycznych pojazdów do mikromobilności z siecią transportu miejskiego (Blomberg, Rosenkrantz, Lippert, Christensen, 2019; Farley, 2020; Handy, Cao, Mokhtarian, 2005; Jiao, Bai, 2020) oraz oceny pozytywnych i negatywnych skutków tej integracji (Aulino, Polacco, Fattoruso, Cittadini, 2022; Faraji i in., 2020; Störmann i in., 2020; Mitchell, Tsao, Randell, Marks, Mackay, 2019).

Autorzy jednej z takich prac (Rix, Demchur, Zane, Brown, 2021) porównali częstość urazów wśród kierowców e-hulajnóg i kierowców samochodów. Autorzy stwierdzili, że kierowcy e-hulajnóg odnosili urazy 175–200 razy częściej niż kierowcy samochodów. Przeprowadzono również badania, które wykazały, że urazy powstawały najczęściej na skutek upadku z hulajnogi (84,7%) i kolizji z samochodem (9,7%), częstymi urazami odniesionymi przez ofiary wypadków drogowych były rany głowy i twarzy (45,5%). 1,6% spośród tych ofiar deklarowało, że w chwili powstania urazu osoby te miały na sobie środki ochrony (kask). Na podstawie uzyskanych wyników autorzy pracy doszli do wniosku, że korzystanie z e-hulajnóg jest związane z wieloma potencjalnie poważnymi urazami, które pochłaniają znaczne ilości zasobów oddziałów ratunkowych i szpitali (English i in., 2020).

Ishmael i in. (2020) analizowali mechanizm powstawania urazów i specyfikę obrażeń ciała odniesionych przez osoby poruszające się na e-hulajnogach. Autorzy stwierdzili, że pomimo powszechności prac na temat różnych aspektów jazdy e-hulajnogą wciąż brakuje badań dotyczących powstawania urazów wśród uczestników wypadków drogowych z udziałem tych urządzeń. Celem badań było opisanie specyfiki powstawania urazów związanych z jazdą e-hulajnogą. W okresie badawczym zaobserwowano 75 urazów wymagających interwencji chirurgicznej wśród 73 osób. Średni wiek badanych wynosił 35,5 lat (w zakresie od 14 do 74 lat), a mediana wieku – 32 lata. W grupie badanych była czwórka dzieci (w wieku 14, 15, 15 i 17 lat). U 32 pacjentów (43,8%) stwierdzono obrażenia kończyn górnych, a u 42 pacjentów (57,5%) – kończyn dolnych, przy czym jeden z nich doznał jednocześnie obrażeń kończyn górnych i dolnych. U 9 (12,3%) pacjentów stwierdzono złamania otwarte. Pacjenci o średniej wieku 42,4 lat (w zakresie od 28 do 68 lat) doznali 7 złamań biodra. Ponadto 71 z 73 pacjentów (97,3%) było kierowcami e-hulajnogi, a 2 (2,7%) – pieszymi potrąconymi przez e-hulajnogę.

Autorzy doszli do wniosku, że e-hulajnogi mogą prowadzić do poważnych urazów, a w miarę wzrostu ich popularności należy usystematyzować zasady ich użytkowania oraz zadbać o bezpieczeństwo kierujących tymi pojazdami.

Inne interesujące badania przeprowadzili badacze z USA (Trivedi i in., 2019), którzy na podstawie retrospektywnego przeglądu kohortowego dokumentacji medycznej wszystkich pacjentów z urazami związanymi z użytkowaniem hulajnogi elektrycznej doznanymi w okresie od 1 września 2017 r. do 31 sierpnia 2018 r. w południowej Kalifornii ustalili wpływ biernego sprzętu ochronnego (kasku) na ryzyko urazu, wpływ upojenia alkoholem na jego ryzyko oraz procentowy charakter urazu.

Niestety pomimo znacznej ilości dostępnych danych wciąż zbyt mało wiemy na temat problematyki badań kryminalistycznych dotyczących urazów powstałych w wyniku użytkowania e-hulajnóg przez dzieci (Coelho i in., 2021; Cohen, Geller, Yang, Allegra, Dodds, 2021; Kobayashi i in., 2019; Morgan i in., 2022).

Równoległe z rosnącą popularnością tych urządzeń w transporcie miejskim wzrasta liczba osób poszkodowanych w związku z ich użytkowaniem. Statystyki pokazują gwałtownie rosnącą liczbę wypadków z udziałem e-hulajnóg. Na przykład liczba wypadków z ich udziałem w Szwecji wzrosła drastycznie od 2018 r., kiedy wprowadzono je do szwedzkich miast (Störmann i in., 2020). Podobną tendencję wzrostową w liczbie wypadków z udziałem elektrycznych urządzeń do mikromobilności obserwuje się na całym świecie. Przeprowadzone w USA w latach 2020 i 2021 badania również wskazują na taką tendencję (Cicchino, Kulie, McCarthy, 2021; Vernon i in., 2020).

Łatwość w użyciu i opłacalność elektrycznych pojazdów do mikromobilności przełożyły się na ich popularność nie tylko wśród dorosłych, ale również dzieci, a zwłaszcza nastolatków. Człowiek kierujący tego typu pojazdem nie wykonuje zbyt wielu ruchów z wyjątkiem tych, które są potrzebne do utrzymania na nim równowagi. Warto zauważyć, że pojazdy takie mogą osiągać duże prędkości, a upadek z nich następuje z pełnej wysokości w pozycji stojącej, co potencjalnie prowadzi do poważnych urazów u dzieci. W rezultacie kryminaliści stają przed nowymi wyzwaniami dotyczącymi badania skomplikowanych urazów u dzieci, powstałych w wyniku kierowania elektrycznymi urządzeniami do mikromobilności, mechanizmów ich powstawania oraz cech charakterystycznych kierowcy i przechodnia.

Praktycznie nie ma prac na temat urazów i wypadków śmiertelnych wśród dzieci z udziałem takich urządzeń, szczególnie prac omawiających kryminalistyczne aspekty urazów (Sanders i in., 2005; Schapiro, Lall, Anton, Trout, 2017).

Dostępne są wyniki badań przeprowadzonych przez brytyjskich naukowców (Morgan i in., 2022), które skupiały się na problematyce urazów doznawanych przez dzieci korzystające z e-hulajnóg. Celem autorów było ustalenie, czy e-hulajnogi stanowią zagrożenie dla dzieci oraz określenie charakteru i ciężkości urazów

ortopedycznych wynikających z poruszania się tymi urządzeniami. Badacze ci wykazali, że e-hulajnogi rzeczywiście stanowią istotne zagrożenie dla dzieci i mogą prowadzić do poważnych uszkodzeń układu mięśniowo-szkieletowego.

Retrospektywne badania obserwacyjne urazów związanych z użytkowaniem e-hulajnóg przeprowadzili naukowcy z Hiszpanii (Coelho i in., 2021). Stwierdzili oni, że w okresie od maja 2019 r. do maja 2020 r. u 397 pacjentów zdiagnozowano łącznie 422 urazy powstałe w trakcie użytkowania tych pojazdów. Autorzy nie rozdzielili wyników dotyczących dzieci od wyników dorosłych, ale podali, że nieletni stanowili w tej grupie 12,6% rannych. Wiele analizowanych urazów było skutkiem upadku z e-hulajnogi, prawie połowę z nich stanowiły złamania kończyn górnych. Złamania ogółem stanowiły 46,9% wszystkich urazów. W około 25% przypadków była konieczna interwencja chirurgiczna. Tylko 19% kierowców nosiło kask w chwili wypadku. Najwięcej złamań dotyczyło kończyn górnych (62,6%), konkretnie – złamania kości promieniowej. Autorzy odnotowują, że z powodu dużej częstości wypadków z udziałem e-hulajnóg w Hiszpanii w 2017 r. państwo to podjęło próbę uregulowania zasad dotyczących użytkowania tych urządzeń (do kierowania e-hulajnogami w miejscach publicznych dopuszczono tylko osoby powyżej 16 roku życia; dodatkowo jazda musi odbywać się w kasku, z włączonymi światłami i z prędkością nie większą niż 30 km/h, a także należy korzystać z dzwonka). Naruszenie przepisów karane jest grzywną do 500 euro w zależności od stopnia naruszenia. Z powodów wymienionych powyżej również inne państwa europejskie zaczynają wprowadzać przepisy regulujące zasady użytkowania elektrycznych urządzeń do mikromobilności. Na wprowadzanie tych regulacji mają także wpływ negatywne skutki społeczne wynikające z korzystania z tych urządzeń jako środków transportu.

E-hulajnogi to energooszczędne urządzenia, które dzielą nie tylko drogę z innymi pojazdami, takimi jak rowery, motocykle czy samochody, ale także chodnik z pieszymi – co jest konsekwencją braku przepisów dotyczących użytkowania elektrycznych urządzeń do mikromobilności w wielu miejscach na świecie. Z powodu grubości kół urządzenia te źle sobie radzą z różnymi przeszkodami na drodze, co prowadzi do upadków osób nimi kierujących. Przegląd literatury wskazuje, że o ile kończyny górne częściej doznają urazu niż dolne, o tyle urazy kończyn dolnych są znacznie poważniejsze i często wymagają interwencji chirurgicznej. Urazy kończyn dolnych mogą być związane z szybkością rozwijaną przez e-hulajnogę w chwili wypadku (im większa prędkość, tym mniej czasu ma prowadzący urządzenie na zorientowanie się w sytuacji i zamortyzowanie upadku rękami; Störmann i in., 2020).



Innym popularnym wśród dzieci urządzeniem do mikromobilności jest deskorolka elektryczna, tzw. *hoverboard*. To samobalansujące urządzenie zostało wprowadzone na rynek w 2015 r. i szybko stało się jednym z najbardziej popularnych pojazdów tego typu. Podobnie jak inne elektryczne urządzenia do mikromobilności deskorolki elektryczne mają szereg zalet, ale jednocześnie mogą prowadzić do urazów zarówno wśród dzieci, jak i dorosłych.

Opublikowano badania zajmujące się problematyką urazów doznawanych przez dzieci poruszające się na tych urządzeniach (Siracuse i in., 2017). W trakcie pięciu lat trwania badań autorzy zarejestrowali 42 277 przypadków urazów związanych z ich użytkowaniem. Badania miały charakter statystyczny. Autorzy zaobserwowali, że w roku 2015 wystąpił wzrost liczby urazów związanych z użytkowaniem urządzeń typu *gyroboard* o 28% w porównaniu z wynikami otrzymanymi w czterech poprzedzających latach, co prawdopodobnie wynikało z przypadającego właśnie na ten rok szczytu ich popularności. Autorzy stwierdzili również, że najczęściej dochodziło do urazu przedramienia (47,5%), podudzia (17,8%) oraz głowy i szyi (18,6%). Najczęstszym typem urazu w 2015 r. było złamanie, dotyczące przeważnie barku i dłoni (38,9%).

Kilka źródeł bibliograficznych wskazuje, że najczęstszym urazem wśród dzieci poruszających się na deskorolkach elektrycznych jest specyficzne złamanie dystalnych paliczek u rąk – tzw. złamanie Seymoura (Kattan i in., 2017; Schapiro i in., 2017; Sobel, Reid, Blood, Daniels, Cruza, 2017).

Analiza retrospektywna (Kattan i in., 2017), która ujawniła występowanie urazów dziecięcych w postaci złamań dystalnych paliczek u rąk podczas jazdy na deskorolce elektrycznej, obejmowała okres od grudnia 2015 r. do października 2016 r. Jej wyniki wskazują, że 90% wszystkich urazów w badanej grupie powstało u dzieci poniżej 14 roku życia. Ponadto dzieci w wieku poniżej 8 lat doznawały jednej trzeciej wszystkich urazów związanych z użytkowaniem tych urządzeń. Autorzy wskazują, że najczęstszymi urazami wśród poruszających się na deskorolkach elektrycznych były złamania dłoni i przedramienia. W opisywanej w artykule grupie dzieci poruszały się na deskorolce, siedząc na niej. U 38,5% poszkodowanych zdiagnozowano złamanie przynasadowe Seymoura, a u pozostałych – złamanie Saltera-Harrisa (uszkodzenie obszaru płytki wzrostowej kości dziecka). Autorzy ustalili następujący mechanizm powstawania urazów: ciężar dziecka siedzącego na deskorolce popycha urządzenie do przodu, po czym palce dziecka zostają przytrzaśnięte pomiędzy elementami koła. Złamanie palca przytrzaśniętego pomiędzy kołem a obręczą koła następuje wskutek przeprostu. Najczęściej uraz dotyczył palca środkowego (46,2% przypadków wśród badanych dzieci z urazami). Autorzy dodają, że do

urazów wśród dzieci dochodziło przeważnie z powodu nieprawidłowego użytkowania deskorolki elektrycznej.

Przegląd wyników badań opublikowanych w ostatnich latach prowadzi do wniosku, że inną powszechną kontuzją wśród dzieci doznawaną w wypadkach z udziałem deskorolek elektrycznych jest uraz twarzoczaszki (Bandzar, Funsch, Hermansen, Gupta, Bandzar, 2018; McGalliard, Hallam, Townley, Messahel, Durand, 2022; Robinson, Agarwal, Chaudhary, Costello, Simon, 2016; Stanbouly, Chuang, 2021; Wu, Lee, Hsiung, Karlis, 2020). W literaturze można znaleźć przykłady urazów twarzoczaszki, tj. stłuczenie tkanek miękkich głowy z otarciami i ranami szarpanymi, złamanie kości twarzy i sklepienia czaszki, urazowa utrata zęba, wstrząśnienie mózgu i stłuczenie mózgu. Podstawowy sprzęt ochronny i prawidłowe użytkowanie deskorolki elektrycznej pozwoliłyby jednak zapobiec większości przypadków urazów wśród dzieci (Aizpuru i in., 2019; Prigozen i in., 2006).

Rower elektryczny to powszechnie używany lekki pojazd, stanowiący atrakcyjny sposób poruszania się po mieście. Jest też obecnie najpopularniejszym na świecie środkiem transportu z napędem elektrycznym. Na świecie nie ma jednolitych przepisów dotyczących użytkowania rowerów elektrycznych, progów wiekowych czy ograniczeń mocy i prędkości tych urządzeń (Hermon i in., 2020; Karepov i in., 2019). Ich popularność wzrasta we wszystkich grupach wiekowych. Dzieci podczas jazdy często nie noszą podstawowego sprzętu ochronnego (kasku), co zwiększa ryzyko kontuzji. Urazy u dzieci poruszających się rowerem elektrycznym najczęściej dotyczą głowy i szyi (Karepov i in., 2019; Siman-Tov, Radomislensky, Peleg, 2017). Dostępne pozycje bibliograficzne zawierają artykuły opisujące urazy odniesione w związku z ich użytkowaniem zarówno przez osoby nimi kierujące, jak i pieszych, w tym dzieci i dorosłych (Du i in., 2014; Gross, Weiss, Eliasi, Bala, Hashavya, 2018; Hu, Lv, Zhu, Fang, 2014; Benhamed, Gossiome, Ndiaye, Tazarourte, 2022). Warto podkreślić, że dzieci stanowią 35% wszystkich osób poszkodowanych w wypadkach z udziałem rowerów elektrycznych. Urazy dotyczą głównie głowy i szyi, co można tłumaczyć proporcjonalnie większą głową i większym stosunkiem wagi głowy do wagi ciała u dzieci (Gross i in., 2018; Hermon i in., 2020). Kierowcy rowerów elektrycznych uczestniczą w większej liczbie wypadków niż kierowcy rowerów tradycyjnych (upadek z roweru czy zderzenie z nieruchomymi obiektami, innymi poruszającymi się pojazdami lub pieszymi) przy większych prędkościach podczas zderzenia (Gross i in., 2018; Weber, Scaramuzza, Schmitt, 2014). Wyniki badań opisane w tych pracach sugerują, że wśród urazów związane z użytkowaniem rowerów elektrycznych są urazy ciężkie, a ich wzorce bardziej odpowiadają tym obserwowanym w urazach z udziałem motocykli niż tradycyjnych rowerów (Karepov i in., 2019).



Ze względu na gwałtownie rosnącą na całym świecie popularność rowerów elektrycznych wśród osób w wieku poniżej 18 lat, które to zjawisko staje się istotną przyczyną wypadków drogowych, Avrahamov-Kraft, Yulevich i Sweed (2022) przeprowadzili analizę porównawczą mechanizmu powstawania urazów i ich ciężkości u dzieci poruszających się na rowerach elektrycznych i tradycyjnych. Spośród 561 badanych dzieci 197 (35%) korzystało z roweru elektrycznego, a 364 (65%) – z tradycyjnego. Badacze obliczyli wskaźnik ciężkości urazu (*injury severity score*, ISS), po czym doszli do wniosku, że kierowcy rowerów elektrycznych mieli znacznie wyższy ISS niż kierowcy rowerów tradycyjnych (średni ISS odpowiednio  $4,08 \pm 4,67$  i  $3,16 \pm 2,84$ ,  $p = 0,012$ ). Częstość wypadków z udziałem pojazdów silnikowych była wyższa w grupie tych pierwszych (odpowiednio 25,9% i 11,3%,  $p < 0,001$ ). Najczęstszym typem urazu w obu grupach był uraz głowy, choć występował on częściej u kierowców rowerów tradycyjnych niż elektrycznych. Wyniki pokazały również, że urazy kończyn dolnych były rzadsze u kierowców rowerów elektrycznych niż tradycyjnych (odpowiednio 55,8% i 37,6%,  $p < 0,001$ ).

Jednakże pomimo dużej ilości badań wyniki są w większości przypadków statystyczne i nie dają holistycznego wglądu w mechanizm powstawania urazów ani nie pomagają w kryminalistycznej ocenie następstw urazu. Badania nad charakterystyką urazów doznawanych przez kierowców i pieszych oraz prace nad ustaleniem porównawczych kryteriów urazów dla obu tych grup pozostają kwestią otwartą.

Gwałtowne upowszechnienie nowoczesnych urządzeń z napędem elektrycznym na drogach w połączeniu ze wzrostem liczby towarzyszących temu zjawisku wypadków narzuca nowe obowiązki na specjalistów badających urazy, do których dochodzi w takich sytuacjach, oraz wyznacza nowe perspektywy badań nad tą problematyką w kontekście medycyny sądowej.