

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ МЕДИЦИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На седници **Наставно-научног већа** Медицинског факултета у Београду, одржаној дана 11. септембра 2024. године, број 19/XXIX-3/2-АЛ, именована је комисија за оцену завршене докторске дисертације под насловом:

„Алгоритми машинског учења у форензичкој експертизи: процена положаја чвора омче у самоубилачким вешањима на основу распореда прелома тирохиоидног комплекса и вратне кичме (енгл. *Machine learning algorithms in forensic expertise: Assessing noose knot's position in suicidal hangings through fracture patterns of the thyrohyoid complex and the cervical spine*)” кандидата Алексе Лековића, асистента на Катедри за судску медицину Медицинског факултета Универзитета у Београду.

Име и презиме ментора	Звање	Научна област	Установа у којој је запослен
проф. др Слободан Николић	редовни професор	Судска медицина	МФУБ

Комисија за оцену завршене докторске дисертације именована је у саставу:

Име и презиме члана комисије	Звање	Научна област	Установа у којој је запослен
проф. др Марија Ђурић	редовни професор	Анатомија, Форензичка антропологија	МФУБ
проф. др Ђорђе Алемпијевић	редовни професор	Судска медицина	МФУБ
доц. др Арсо Вукићевић	доцент	Индустријски инжењеринг	Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу

На основу анализе приложене докторске дисертације, комисија за оцену завршене докторске дисертације једногласно подноси Научном већу Медицинског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

А) Приказ садржаја докторске дисертације

Докторска дисертација Алексе Лековића написана је на енглеском језику, на укупно 119 страница и подељена је на следећа поглавља: увод, циљеви рада, материјал и

методе, резултати, дискусија, закључци, литература и прилози. У дисертацији се налази укупно 38 табела (укључујући и прилоге - одељак *Supplements*) и 33 прилога у виду графика и слика. Докторска дисертација садржи сажетак на српском и на енглеском језику, биографију кандидата и податке о комисији.

У **уводу** су прво дефинисани и објашњени општи појмови у вези са асфиксијама, а нарочито са вешањем. Посебно су разматране околности акта вешања које су од значаја за спроведено истраживање (нпр. дефинисани су замах и могуће позиције чвора омче), патофизиолошки механизми умирања услед вешања, као и обдукциони налаз код вешаника. При разматрању спољашњег налаза објашњен је значај трага стезања у овим случајевима, одређивања његовог правца и највише тачке, те места чвора омче. У делу увода у којем се разматра унутрашњи налаз дефинисане су и приказане повреде меких ткива (укључујући крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле) и чврстих структура врата – вратне кичме и тиреохиоидног комплекса, а дат је и преглед анатомије подјезичне кости и штитасте хрскавице. Посебно је објашњен судскомедицински значај повреда тиреохиоидног комплекса у случајевима вешања, као и чињеница да на основу распореда прелома тиреохиоидног комплекса није могуће тачно утврдити место чвора омче. У последњем делу увода дефинисани су и објашњени општи појмови у вези са вештачком интелигенцијом и машинским учењем које се примењује у истраживањима из области медицине и описане су основне одлике неколико алгоритама машинског учења, који су примењени у дисертацији. На крају, истакнуто је да до сада вероватно није спроведено истраживање у којем би се позиција чвора омче код вешања могла да одреди помоћу метода машинског учења, а на основу распореда прелома чврстих структура врата.

Циљеви рада, јасно су и прецизно дефинисани. Истраживање је имало за циљ да анализира карактеристике и распоред прелома тиреохиоидног комплекса и вратног сегмента кичменог стуба у односу на позицију чвора омче код самоубилачких вешања са кратким замахом или без њега, основним дескриптивним и инференцијалним статистичким методама и да утврди перформансе алгоритама машинског учења за процену позиције чвора омче на основу распореда ових прелома. Такође, истраживање је имало за циљ да засебно утврди перформансе алгоритама машинског учења за процену позиције чвора омче када се, поред прелома, у обзир узме и тежина вешаника и најзад, да утврди перформансе алгоритама машинског учења за процену позиције

чвора омче када се, поред распореда прелома и тежине вешаника, у обзир узме и постојање крвних подлива припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле.

У поглављу **материјал и методе** наведено је да је студија спроведена у три дела, на основу ретроспективно прикупљених података за укупно 1235 особа које су извршиле самоубиство вешањем са кратким замахом или без њега и које су обдуковане у Институту за судску медицину Медицинског факултета у Београду. Подаци су прикупљени из обдукционих записника и пратеће документације (фотодокументација, извештаји полиције, хетероanamнестички прикупљени подаци). Дефинисан је начин класификације сваког појединачног случаја у једну од четири групе, на основу процењене позиције чвора омче: задњу (окципиталну, односно типичну) позицију, предњу или латералну, леву или десну (предња и латерална су тзв. атипичне позиције). Позиција чвора омче, уколико је она била уклоњена, процењивана је на основу карактеристика трага стезања, што је, као и поступак унутрашњег прегледа и утврђивања прелома чврстих структура врата, детаљно описано у овом одељку. У првом делу студије за сваки појединачни случај прикупљени су подаци о полу, старости, распореду прелома великих рогова хиоидне кости, горњих рогова тироидне хрскавице и прелому вратне кичме. У другом делу студије, поред наведених, прикупљени су и подаци о телесној висини и тежини вешаника, и овај део студије спроведен је на узорку од 368 случајева. У последњем, трећем делу студије, поред података о преломима чврстих структура врата, телесне висине и тежине, прикупљени су подаци о распореду крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле. Прецизно су дефинисане анализиране варијабле и у сваком од три дела истраживања спроведена је слична, систематична анализа, како би се утврдила евентуална повезаност између позиције чвора омче и распореда прелома тирохиоидног комплекса, и то поступно, ради дискриминације између: **1.** типичних и атипичних вешања узимајући у обзир и случајеве без прелома чврстих структура врата; **2.** типичних и атипичних вешања изостављајући случајеве без прелома чврстих структура врата из анализе (у трећем делу студије нису искључени случајеви без прелома, уколико су постојала крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића); **3.** предњих и латералних вешања, изостављајући случајеве без прелома чврстих структура врата из анализе (у трећем делу студије нису искључени случајеви без прелома, уколико су постојала крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића); и **4.**

латералних вешања са чвором омче на левој и латералних вешања са чвором омче на десној бочној страни врата, изостављајући случајеве без прелома чврстих структура врата из анализе (у трећем делу студије нису искључени случајеви без прелома, уколико су постојала крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића). За утврђивање повезаности распореда прелома са позицијом чвора коришћене су стандардне статистичке методе, а потом су направљени модели машинског учења, коришћењем следећих алгоритама: *Genetic Algorithm-optimized Artificial Neural Network (GA-ANN)* направљен у *MATLAB*-у (*v2021b*) и они направљени у *SPSS*-у – *Multilayer Perceptron-ANN (MLP-ANN)*, *Decision Tree (DT)*, *k Nearest Neighbors (kNN)*, и *Naïve Bayes (NB)*. У првом делу студије оваква анализа методама машинског учења спроведена је у сва четири корака, у другом делу студије у прва два корака, а у трећем делу студије само у првом наведеном кораку. Како би се проценио значај тежине и висине вешаника, односно распореда крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле у процени положаја чвора омче, у другом и у трећем делу студије, направљена су по два аналогна модела машинског учења (један који у обзир узима поменуте варијабле и други који их не узима), и перформансе оваквих модела међусобно су директно поређене. Поред наведених метода машинског учења, од стандардних инференцијалних статистичких метода коришћени су Пирсонов χ^2 тест, Студентов т-тест за два независна узорка, Ман-Витни тест, бинарна логистичка регресија и анализа *ROC* криве. Статистичка обрада и анализа, спроведена је у следећим програмима: *SPSS (v. 29)*, *Weka (v. 3.8*, ради примене *SMOTE* технике) и *EZR (v. 4.2)*. Тестирања су била двострана, а ниво значајности постављен је на 0,05.

У поглављу **резултати** детаљно су описани и јасно представљени сви добијени резултати, у три засебна дела, како је и дефинисано у одељку материјал и методе.

Дискусија је написана јасно и прегледно, уз приказ података других истраживања и са њиховим упоредним прегледом са добијеним резултатима докторске дисертације.

Закључци сажето приказују најважније налазе који су проистекли из резултата рада. Коришћена **литература** садржи списак од 149 референци, наведених према редоследу појављивања у тексту.

У **прилозима (Supplements)** налазе се табеле у којима су приказани подаци о формираним тзв. тренинг и тзв. тест групама за потребе модела машинског учења.

Б) Провера оригиналности докторске дисертације

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под насловом: „Алгоритми машинског учења у форензичкој експертизи: процена положаја чвора омче у самоубилачким вешањима на основу распореда прелома тирохиоидног комплекса и вратне кичме“ (енгл. *Machine learning algorithms in forensic expertise: Assessing noose knot's position in suicidal hangings through fracture patterns of the thyrohyoid complex and the cervical spine*), аутора Алексе Лековића, констатујемо да утврђени индекс подударања текста (енгл. *Similarity Index*) износи 22%. Најзначајнији извор наведеног подударања текста, и то у степену подударности од 12% (6.532 речи), јесте преклапање делова текста дисертације са садржајем научне публикације која је директно проистекла из рада на овој тези:

- *Leković A, Vukićević A, Nikolić S. [2024] Forensic Sci Int. 357:111973. doi: 10.1016/j.forsciint.2024.111973.*

Наведена публикација оригинално је научно дело кандидата који је у наведеном раду први аутор, па је овакав вид подударања нужан услед употребе општих података, попут униформно дефинисаних назива варијабли, уобичајених термина и скраћеница које се користе у разматраном научном проблему, употребе претходно дефинисане методологије, униформно примењене у три засебна дела истраживања у склопу дисертације, као и претходно публикованих резултата докторандовог истраживања који су и проистекли из садржаја докторске дисертације и услед коришћења делова текста (реченица) у уводном разматрању проблема, а потом и у дискутовању резултата истраживања, када су, као и у наведеном раду, цитирани изворни документи на које се докторанд позивао (при коришћењу оригиналних прилога из наведене публикације, она је адекватно цитирана). Програм *iThenticate* засебно приказује подударање делова реченица дисертације са наведеном докторандовом научном публикацијом у још око 1% текста (313 речи; означено бројем 3 у *Match overview* одељку платформе, односно 2 у *Summary Report* одељку), које постоји из истих, претходно наведених разлога. Све ово је у складу са чланом 9 Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду.

У око 1% текста (488 речи) постоји преклапање са текстом из различитих релевантних уџбеника и научних радова, због употребе уобичајених појмова и скраћеница, али и због коришћења општих дефиниција и преузетих прилога, пре свега у уводном разматрању научног проблема (на пример, следеће речи у табелама 1.1. и 1.2. у уводу дисертације: *Suffocation, Smothering, Hanging, Ligature strangulation* и њихове дефиниције), што је адекватно цитирано. Међу овим публикацијама, највећи степен преклапања уочен је са следећим референцама:

- *Sauvageau A. Death by Hanging. In: Ritty G.N. (Ed). Essentials of Autopsy Practice. London: Springer-Verlage, 2014* (преклапање у 241 речи, < 1%),
- *Sauvageau A, Geberth VJ. Autoerotic Deaths: Practical Forensic and Investigative Perspectives. BR: CRC Press; 2013* (преклапање у 215 речи, < 1%),
- *Madea B (Ed). Asphyxiation, Suffocation, and Neck Pressure Deaths. Boca Raton: CRC Press; 2020* (преклапање у 210 речи, < 1%).

Осим релевантне судскомедицинске литературе, коришћена је и литература у вези са применом вештачке интелигенције и машинског учења, са којом постоји преклапање у тексту дисертације из сличних разлога, попут дефинисања општих појмова од значаја (на пример врсте машинског учења) и њихових одлика, уопште и у конкретном контексту од значаја за дисертацију. Међу оваквим референцама највећи степен преклапања уочен је са: *Lidströmer N, Ashraffian H. (Eds). Artificial Intelligence in Medicine. Cham: Springer; 2022* (преклапање у 42 речи, < 1%, на пример: „...ML... refers to a computer program... how to produce behavior not explicitly programmed by the... author; supervised; unsupervised“).

Поред наведеног, постоји преклапање са бројним интернет изворима научно-истраживачких публикација и теза, у до 1% текста дисертације, што је највећим делом последица употребе стандардних термина и формулација делова реченица у вези са применом статистичких метода и саопштавања њихових резултата (у главном тексту и легендама прилога), али и услед употребе других општих термина у вези са разматраним научним проблемом, а мањим делом и због униформисаности техничких делова документа (нпр. сличност форматирања документа са другим докторским дисертацијама). Међу поменутих, у пет група извора постоји преклапање од 113 до 242 речи (највише са: *Yılmaz Öztekin GM, Genç A. [2023] Turk Kardiyol Dern Ars. 51(2):129-*

34; неки од примера речи које се преклапају у таквим изворима су: *analysis, Receiver Operator Characteristic curve, AUC, 95% CI, sensitivity, p > 0.05*), у 51 групи извора постоји преклапање од 20 до 76 речи (највише са: *Nikolić S et al. [2011] Med Sci Law. 51(1):21-5*; преклапање текста попут: „...*the position of the knot...noose*“), а у 129 група извора преклапање од 6 до 19 речи.

На основу свега наведеног, а у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, закључујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити („Гласник Универзитета у Београду“, број 204/18).

В) Кратак опис постигнутих резултата

На основу досадашњих истраживања у форензичкој патологији, чак су и основне карактеристике прелома чврстих структура врата код вешања, попут опште учесталости ових повреда, значајно и очигледно варирале. Поред тога, у свим овим истраживањима нема или је врло мало статистички значајне правилности уочено у настанку прелома тирохиоидног комплекса и вратне кичме. Формирање релативно великог, али пре свега униформног узорка омогућило је поузданију анализу тако хетерогених и варијабилних података. Стандардним статистичким методама утврђено је да старост доприноси настанку прелома великих рогова хиоидне кости, као и вратне кичме, док би телесна тежина могла да има утицај на настанак прелома горњих рогова тироидне хрскавице, али и на појаву крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле. Стандардном анализом такође је показано да су унилатерални преломи великих рогова хиоидне кости и преломи вратне кичме значајно чешћи код вешања са атипичном позицијом чвора у поређењу са типичном, код које су чешћи изоловани преломи горњих рогова тироидне хрскавице. Код латералних позиција чвора, утврђено је да преломи великих рогова хиоидне кости настају најчешће на страни чвора, а преломи горњих рогова тироидне хрскавице на контралатералној страни. Крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића такође су чешћа на страни на којој је чвор, ако се он налази на бочној страни врата. Поред наведеног, вероватно су по први пут добијени подаци о прецизности и другим перформансама модела машинског учења у класификацији случајева вешања у односу на место чвора омче. Утврђено је да јесте

могуће направити валидне моделе, у складу са дефинисаним циљевима истраживања. Прецизност класификације модела машинског учења за дискриминација између типичне и атипичне позиције чвора била је врло умерена (око 60%), али је прецизност при дискриминацији леве од десне позиције чвора била значајно боља, већа од 90% у првом делу студије. Резултати поређења перформанси комплементарних модела машинског учења, међутим, указали су да телесна висина и тежина нису од пресудног значаја за процену положаја чвора омче на основу распореда прелома чврстих структура врата, што је такође уочено и за распоред крварења припоја стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле, мада стандардна статистичка анализа не искључује потпуно значај овог налаза.

Г) Упоредна анализа докторске дисертације са резултатима из литературе

Према доступним подацима, ово је прво истраживање у којем су примењене методе машинског учења за процену положаја чвора омче код вешања. Међутим, бројна су истраживања у форензичкој патологији која су већ анализирали основне карактеристике прелома рогова хиоидне кости, тироидне хрскавице, па и вратне кичме код вешања. Како је већ поменуто, ови су подаци врло хетерогени и процене основних карактеристика попут опште учесталости прелома врло су различити. Тако постоје истраживања у којима је учесталост прелома тирохиоидног комплекса мања од 5%, али и истраживања у којима је већа од 75% (*Zátopková et al, 2018, Wilson et al, 2023*). Овакве се разлике виђају и у ретроспективним и у проспективним студијама, мада је у проспективним студијама учесталост често у опсегу од око 40-70% (*Zátopková et al, 2018*). Недавно спроведена мета-анализа утврдила је да је учесталост тирохиоидних прелома код вешања 37,5% (95% CI 27,4% – 48,3%) (*Wilson et al, 2023*). Пре око 10 година, на узорку од око 4500 случајева утврђена је учесталост тирохиоидних прелома око 52% (*Taktak et al, 2015*). У дисертацији кандидата Алексе Лековића, на узорку од 1235 случајева самоубилачких вешања са кратким замахом или без њега, учесталост прелома тирохиоидног комплекса била је 60,6%. Имајући у виду да је ово у складу са добро спроведеним проспективним студијама и да је изнад просека процењеног мета-анализом, као и да је слична учесталост утврђена у истраживањима раније спроведеним у истој институцији (*Nikolić et al, 2003, Nikolić et al, 2011, Nikolić & Živković, 2014*)

процењена преваленција може се сматрати поузданом, што је важно јер директно утиче на квалитет добијених модела машинског учења.

Овако велики узорак користан је и за процену учесталости ретких повреда, као што је прелом вратне кичме код вешања и на истом узорку процењено је да се јавља у око 3,6% свих случајева вешања. Већ се зна да су повреде вратне кичме повезане са тзв. предњом позицијом чвора омче (*Nikolić & Živković, 2014*), и ово је правило потврђено у дисертацији.

До појединих закључака у вези са распоредом тирохиоидних прелома у односу на позицију чвора омче у овој дисертацији, а који нису уочени у претходним истраживањима, дошло се на основу специфичног кодирања варијабли. Распоред прелома, односно постојање прелома рогова хиоидне кости и тироидне хрскавице дефинисан је, на пример, као унилатералан, билатералан, или као прелом рогова једне од ових двају структура или као истовремени прелом рогова хиоидне кости и тироидне хрскавице, али дефинисан је и у односу на место чвора (код латералних позиција), као ипсилатерални или контралатерални прелом. Груписањем леве и десне позиције чвора у једну (латералну), спојене су групе код којих су повреде настале на исти начин, на основу истог биомеханичког модела. Све ово је вероватно олакшало откривање повезаности појединих распореда прелома са позицијом чвора, који нису били утврђени у ранијим истраживањима других аутора.

Утицај старости особе на настанак прелома структура тирохиоидног комплекса већ је познат (*Zátoková et al, 2018*). У више студија је показано да су код вешања ови преломи значајно чешћи код особа старијих од 40 година (*Zátoková et al, 2018, Wilson et al, 2023*). Овакав је резултат утврђен и у дисертацији, с тим што је указано да старост особе значајно утиче на настанак прелома великих рогова хиоидне кости, али не и горњих рогова тироидне хрскавице. Такође, утврђено је да су преломи кичме значајно чешћи код старијих (нарочито након 65. године) и ово је у складу са претходним анализама (*Nikolić & Živković, 2014*).

Мање је јасно колико тежина и висина вешаника утичу на настанак наведених прелома. Постоје аутопсијске студије у којима је откривена повезаност између тежине вешаника и настанка прелома, али и оне у којима то није потврђено (*Zátoková et al, 2018, Commins et al, 2024*). У овој дисертацији утврђено је да је тежина вешаника била значајно повезана једино са преломима горњих рогова тироидне хрскавице, док између

телесне висине и прелома није уочена значајна повезаност. Постоји недавно објављена студија у којој су аутори довели у везу висину особе са настанком ових прелома (*Commins et al, 2024*), што је кандидат и анализирао у дискусији дисертације.

На значај распореда крварења у припојима стерноклеидомастоидних мишића за клавикуле у процени положаја чвора омче већ је раније указано од стране других аутора (*Hejna & Zátorková, 2012, Keil et al, 1995*). Ти су резултати у складу са онима из дисертације, уз две битне напомене: у дисертацији је мање јасна повезаност билатералних крварења код предње позиције чвора него у претходним публикацијама, а у дисертацији је показана и повезаност тежине вешаника са појавом ових крварења.

Д) Објављени радови који чине део докторске дисертације

Оригинални рад публикован „in extenso“ у часопису од међународног значаја који је индексиран на „Journal Citation Reports (JCR)“ листи:

- **Leković A, Vukićević A, Nikolić S.** Assessing the knot in a noose position by thyrohyoid and cervical spine fracture patterns in suicidal hangings using machine learning algorithms: A new insight into old dilemmas. *Forensic Sci Int.* 2024;357:111973. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.111973>. **ИФ 2,2 М21**

Мини-прегледни рад публикован „in extenso“ у часопису који није индексиран у наведеној листи:

- **Leković A, Nikolić S.** Autonomous nervous system-related vital reactions in short-drop hangings. *Med Podml.* 2025;76(6). (Accepted for publication). <https://doi.org/10.5937/mp76-48972>. **М53**

Писмо уреднику („Letter to the Editor“) публиковано у часопису од међународног значаја који је индексиран на „Journal Citation Reports (JCR)“ листи:

- **Leković A, Nikolić S.** Commentary on “The integration and implications of artificial intelligence in forensic science.” *Forensic Sci Med Pathol.* 2024. <https://doi.org/10.1007/s12024-024-00781-z>. Epub ahead of print. **ИФ 1,5 М22**

Ђ) Закључак (образложење научног доприноса)

Докторска дисертација „Алгоритми машинског учења у форензичкој експертизи: процена положаја чвора омче у самоубилачким вешањима на основу распореда прелома тиреохиоидног комплекса и вратне кичме“ (енгл. *Machine learning algorithms in forensic expertise: Assessing noose knot’s position in suicidal hangings through fracture patterns of the thyrohyoid complex and the cervical spine*)“ Алексе Лековића, представља

оригинални научни допринос у разумевању биофизичких и патофизиологијских механизмима настанка повреда у случајевима самоубилачких вешања са кратким замахом или без њега, односно о дистрибуцији сила истезања и притиска на врат, а тако и о настанку поменутих прелома. Такође, иако резултати овог истраживања нису довољни за директну имплементацију примењених метода у сваком конкретном судскомедицинском случају у полицијској истрази, они указују на то који начини и методе машинског учења могу да буду корисне за објективизацију и унапређење форензичке и експертне дијагностике.

Ова докторска дисертација урађена је према свим принципима научног истраживања и према одобреној пријави. Циљеви су били прецизно дефинисани, научни приступ је био оригиналан и пажљиво изабран, а методологија рада била је савремена. Резултати су прегледно и систематично приказани и дискутовани, а из њих су изведени одговарајући закључци.

На основу свега наведеног, и имајући у виду досадашњи научни рад кандидата, комисија предлаже Научном већу Медицинског факултета Универзитета у Београду да прихвати докторску дисертацију Алексе Лековића и одобри њену јавну одбрану ради стицања академске титуле доктора медицинских наука.

У Београду, 1. октобра 2024. године.

Чланови Комисије:

Проф. др Марија Ђурић

Проф. др Ђорђе Алемпијевић

Доц. др Арсо Вукићевић

Ментор:

Проф. др Слободан Николић
