



Стојче ДЕСКОВСКИ<sup>1</sup>, Росе СМИЛЕСКИ<sup>2</sup>, Славко АНГЕЛЕВСКИ<sup>3</sup>,

**МЕХАНИЧКИ АСПЕКТИ НА ДЕЈСТВОТО НА ПРОЕКТИЛИТЕ ВРЗ  
ЧОВЕКОВОТО ТЕЛО**

**РЕЗИМЕ**

Во трудот се презентирани одредени сознанија до кои е дојдено во проучувањето на дејството на проектилите врз човековото тело. Проучувањата од оваа релативно нова и во последно време доста актуелна област се интердисциплинарни, во трудот се обработени механичките аспекти на ова дејство. На почетокот е опишан механизмот на настанувањето на раната и ефектите од дејството на проектилите врз човековото ткиво. Посебно се разработени начините на кои проектилите ги предизвикуваат повредите во зависност од нивната брзина, форма, стабилноста и склоноста кон деформација и фрагментација. На крајот накратко се опишани експерименталните методи за испитување на дејството на проектилите врз човековото тело со мерење на ослободената енергија во симулаторите на ткиво.

Stojče DESKOVSKI, Rose SMILESKI, Slavko ANGELEVSKI

**SUMMARY**

**MECHANICAL ASPECTS OF THE PROJECTILES IMPACT ON THE HUMAN BODY**

This paper presents certain findings in the research of the projectiles impact on the human body. The research in this new and lately very popular field are interdisciplinary, so this paper covers only the mechanical aspects of this impact. Firstly, the mechanism of causing the wound and the effects of the projectiles impact on the human body is described. Special accent is given to the causes of injuries depending on the projectiles velocity, shape, stability and ability to deform and fragment. At the end, the experimental methods for measuring the released energy in the tissue's simulants are briefly described.

<sup>1</sup> Ред. проф д-р, Воена академија - Скопје

<sup>2</sup> Вонр. проф д-р, Воена академија - Скопје

<sup>3</sup> Асистент дипл. инж, Воена академија - Скопје

## 1. Вовед

Проучувањето на механизмот на настанувањето на раните при дејството на проектилите врз човековото тело е мошне значаен, особено во денешно време кога настојувањето да се даде значење на меѓународното хуманитарно право е се поголемо, што произлегува од потребата за донесување на конвенции за забрана, или ограничување, на одредени видови на конвенционално вооружување и муниција<sup>4</sup>. Значајот на ваквите конвенции е пред се од медицинска и хуманитарна гледна точка.

Денес постојат малокалибарски системи на вооружување и муниција кои можат да предизвикаат ефекти блиски на забранетите "дум - дум" проектили<sup>5</sup>. Исто така, евидентно е дека постојните регулативи (конвенциите) за малокалибарско вооружување и муниција можат да бидат спротивни со сè построгите хуманитарни барања<sup>6</sup>. Особено нејасно изгледа како "воената потреба" или "воената нужност" може да се избалансира со "непотребното страдање" или "непотребните повреди". Правилното проучување и согледување на механичките аспекти на дејството на проектилите врз човековото ткиво, во контекст на претходно наведеното, се многу битен елемент за правилен избор на методот со кој ќе се врши селекција и забрана на муницијата преку конвенции кои во иднина евентуално би се донеле.

## 2. Механизам на дејство на проектилите врз човековото ткиво

Дури и денеска, близу сто и педесет, односно сто години, респективно, од донесувањето на двете најпознати конвенции (Сент Петербуршката 1868 и Хашките 1899/1907) кои се однесуваат на ефектите, или подобро речено на конструкцијата на муницијата за малите оружја, сè уште постојат дискусии за начинот на кој проектилот дејствува врз човековото тело, односно за механизмот на настанувањето на раните. Меѓутоа, сепак истражувањата од оваа област денес се интензивирани со цел да се изнајдат ефикасни методи за проучување на ваквото дејство.

Описот на физичките основи на потенцијалот за ранување<sup>7</sup> кој го поседуваат проектилите, кои ги дал уште во далечната 1908 година Џ.Г. Спенсер, професор во Кралскиот колеџ за воена хирургија во Лондон, се уште и денес се релевантни. Според него, потенцијалот за ранување кој го поседува проектилот зависи од

<sup>4</sup> Конвенционално вооружување и муниција – оружје и муниција кое со меѓународните конвенции не е забрането за употреба во воени цели, за разлика од неконвенционалното кое со истите конвенции според меѓународното хуманитарно право е забрането за употреба.

<sup>5</sup> Под поимот "дум - дум" проектили се подразбираат оние проектили кај кои со засекување на кошулката на врвот на проектилот занемарливо е изменет неговиот облик, но драстично се променети особините на ефектот кој проектилот го предизвикува при пенетрацијата во ткивото. Покрај, со засекување на кошулката на врвот на проектилот, ефектот на "дум - дум" проектилите може да се постигне и со изработка на таканаречен "шуплив врв" (*Hollow Point*), или ако кошулката не го покрива до крај врвот на проектилот (видливо е мекото оловно јадро). За првпат вакви проектили се изработени кон крајот на XIX век во градот Дум Дум, блиску до Калкута - Индија, од каде и доаѓа името на вака изработените проектили "дум - дум".

<sup>6</sup> Хашките конвенции 1899/1907 за проектилите кои лесно се деформираат (се сплоснуваат со што се зголемува нивниот попречен пресек) при пенетрацијата во човечкото тело, се единствените актуелни забрани според меѓународното воено право, кои се однесуваат на употребата на муниција за стрелечкото вооружување (малите оружја).

<sup>7</sup> Потенцијал за ранување (*Wounding Potential*) - во никој случај, ефектот на ранување не може да се поистовети со потенцијалот за ранување кој го поседува проектилот. На пример, кога и најсвириплиот "дум дум" проектил ќе погоди човек во неговата рака или нога, ефектот на ранување е многу мал во споредба со големиот потенцијал за ранување кој го поседува овај проектил. Од друга страна, ако и најобичен фрагмент од артилериски проектил или пиштолски проектил со потполна кошулка и мала брзина, го погоди кичмениот столб на човекот, тогаш ефектот на ранување ќе биде многу голем и покрај малиот потенцијал за ранување кој го поседуваат ваквите проектили. Ова, покрај потенцијалот за ранување, точката на ударот и траекторијата на проектилот во човековото тело, има многу важна улога во одредувањето на ефектот на ранувањето.



неговата енергија и способноста за претворање на енергијата која ја поседува во работа на ударот.

Првиот фактор, енергијата или моќта за извршување на работа, може да се изрази со формулата за кинетичка енергија

$$E = \frac{mV^2}{2} \quad (1)$$

каде  $e$ :  $m$  – маса на проектилот и  $V$  – брзина на проектилот во моментот на ударот (крајна брзина). Бидејќи брзината, поради отпорот на воздухот, нагло опаѓа со зголемувањето на дострелот (изминатиот пат) на проектилот, а енергијата е пропорционална со квадратот од преостанатата брзина на која било оддалеченост, следува дека енергијата на проектилот е релативно голема на помали растојанија и рапидно опаѓа со зголемувањето на дострелот.

Вториот фактор, кој го одредува ефектот на ранување што го предизвикува проектилот, односно неговата способност за претворање на енергијата која ја поседува во работа на ударот, зависи од:

1. Површината на попречниот пресек на проектилот. Колку е таа поголема (проектили со поголем калибар), толку повеќе работа проектилот треба да изврша за да го "пробие" својот пат низ ткивото. Ефектот на намалување на пречникот на проектилот ќе предизвика намалување на неговата моќ за ранување (ако масата на проектилот остане иста).
2. Сколоноста на проектилот да се деформира или да фрагментира, што ќе предизвика зголемување на површината на неговиот попречен пресек. На пример: проектили кои се деформираат и експандираат, односно нивниот преден дел се деформира во облик на "печурка" при ударот, ќе предизвикаат многу посериозни рани, во однос на оние кои остануваат недеформирани.
3. Отпорот на кој наидува при ударот, односно карактеристиките на средината (ткивото) во која треба да го "пробива" својот пат. Ова е битно за определување на количината енергија која треба да ја поседува проектилот. Ако отпорот на средината е доволно голем за да го запре проектилот, тогаш тој ја предава целата своја енергија врз целта. Додека, ако проектилот располага со голема количина на енергија, а отпорот на средината е мал, тогаш само мал дел од енергијата ќе биде предадена и проектилот ќе помине низ средината (ткивото) со релативно мало губење од енергијата.

Врз основа на погоре наведеното може да се заклучи дека со обликување на проектилите и субпроектилите<sup>8</sup>, односно со влијание врз фрагментацијата при распрскувањето на кошулката од проектилот, можно е да се влијае врз ефектите кои ги предизвикува проектилот врз човековото тело. При тоа, тенденцијата е проектилот врз ткивото да пренесе што е можно поголем дел од кинетичката енергија со која располага, бидејќи добро стабилизирани проектил за стрелачко оружје со класична конфигурација при ударот со голема брзина може да предизвика таканаречена "прострелна рана" и да излезе од телото со релативно голема количина на неискористена енергија.

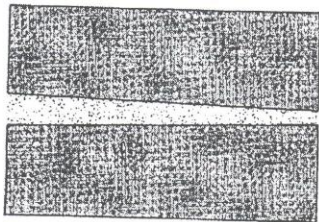
Еластичноста и густината на ткивото од кое се состои човековото тело се најважните фактори кои влијаат врз забавувањето на проектилот при пенетрирањето. Мекото ткиво на телото, слично како кај водата, е 800 до 900 пати погусто од воздухот, така што проектилот кога ќе удри во ткивото речиси секогаш станува нестабилен, поради фактот дека поминува од средина со помала во средина со поголема густина, со што се менуваат аеродинамичките услови на движењето на

<sup>8</sup> Субпроектил - одреден проектил (артилериски, ракетни и сл.) можат да се состојат од поголем број помали проектили, истите засебно дејствуваат како посебен проектил, кои се нарекуваат субпроектили.

проектилот, односно силите на отпорот се поголеми. Ако постои било каков агол на нестабилност (нападен агол) тој значително ќе се зголеми, што последователно предизвикува зголемување на разорувањето на ткивото.

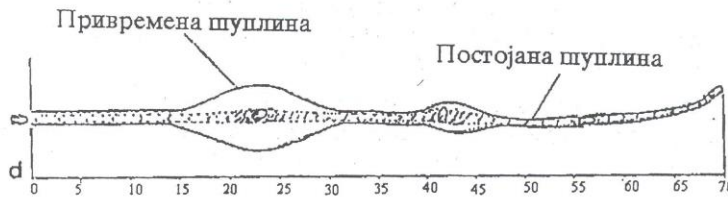
Генерално гледано, проектилот може да предизвика повреди на еден од следниве начини: со раскинување и гмечење (*laceration and crushing*), со создавање ударни бранови (*stress waves*) и со создавање привремена шуплина (*temporary cavitation*), што најмногу зависи од неговата брзина. За претставата за дејството на проектилот врз човековото тело да биде потполна, тука треба да се споменат и ефектите кои настануваат во случај на деформација и/или фрагментација на проектилите при пенетрацијата во ткивото, како и ефектите кои настануваат поради нестабилноста на проектилот (при летот во воздухот и при пенетрацијата во ткивото).

**Раскинување и гмечење:** Главен ефект при мали (подзвучни) брзини, на проектилите е пенетрацијата во ткивото и неговото гмечење и растргнување. Само ткивото кое директно е погодено се оштетува, а настанатата рана може да се спореди со рана која настанува при удар со нож. Раскинувањето и гмечењето на ткивото во општ случај не мора да биде сериозно ранување, освен во случај кога се зафатени виталните органи или главните крвни садови.



Сл. 1. Шематски приказ на рана настаната при дејство на подзвучен проектил во желатински блок

На Сликата 1 шематски е прикажан патот на мал подзвучен проектил при неговата пенетрација низ желатински блок. Проектилот ја предава својата енергија создавајќи мала трајна деформација - рана, која настанува со едноставно поместување на желатинот. Ова е наједноставен начин на кој проектилот може да предизвика рана во човековото тело. На Сликата 2 е прикажан профил на рана предизвикана од ваков вид на проектил.



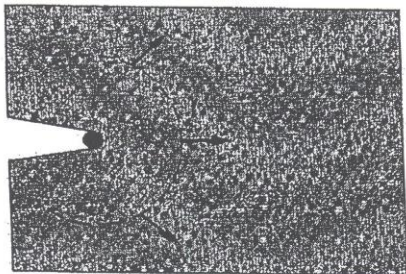
Сл. 2 – Профил на рана предизвикана од 9 mm проектил со потполна кошулка (FMJ bullet)

**Создавање ударни бранови:** појавата на ударни бранови, кои се простираат низ ткивото при ударот на проектилот и неговата пенетрација, понекогаш може да има значително влијание во формирањето на раната. Ваквата појава се објаснува со хидродинамичката теорија, која денес се прифаќа со одредена резерва.

Кога проектил со голема брзина удира во ткивото, доаѓа до компримирање на материјата која се наоѓа пред него, вака компримираниот простор почнува да се шири во форма на ударен бран со сферен облик (Слика 3). Брзината на простирање на овој ударен бран е приближно еднаква на брзината на звукот во водата, односно околу 1500 m/s. Промената на притисокот поради појавата на ударниот бран трае само милионити дел од секундата, меѓутоа може да достигне максимална вредност и до



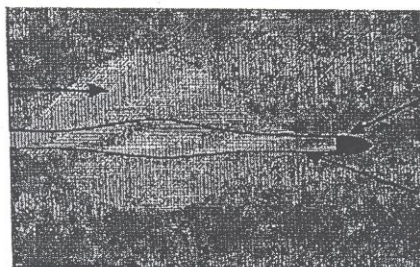
100 atm<sup>9</sup>. Сепак, инерцијата на ткивото не дозволува вакуиот ударен бран да предизвика трансформација на истото, односно трајни деформации. Поради ваквата појава, на пример, оштетување на нервите може да биде предизвикано на значително растојание од предизвиканата постојана рана.



Сл. 3. Шематски приказ на ударни бранови создадени во ткивото при ударот на проектил кој се движи со голема брзина

*Создавање привремена шуплина:* сериозни ефекти на ранување предизвикуваат проектилите со големи брзини, што е главно последица на појавата привремена шуплина (Слика 4). Кога проектилот ќе влезе во телото, неговата количина на движење се пренесува на околното ткиво. Ова предизвикува ткивото да се движи и осцилира, дури и откако проектилот ќе помине, што доведува до создавање на голема шуплина, која понекогаш отприлика е 30 до 40 пати поголема од пречникот на проектилот. Оваа шуплина за време од неколку милисекунди поминува низ неколку пулсирања, се зголемува и намалува, пред да оформи одреден полупостојан облик. Привремената шуплина се појавува само во краток временски интервал, отприлика 5 до 10 милисекунди.

Привремена шуплина



Проектил

Постојаниот облик на раната

Сл. 4. Шематски приказ на привремена шуплина создадена од проектил кој се движи со голема брзина

Овие насилни промени во ткивото, се доволно силни да предизвикаат кршење на коските, раскинување на органите и крвните садови и оштетување на нервите надвор од патот по кој поминува проектилот. Обликот на оваа привремена шуплина, освен на местата каде што нестабилноста на проектилот предизвикува посебни ефекти, е во форма на елипсоид. Бидејќи притисокот во шуплината е понизок од атмосферскиот, а таа е поврзана со надворешноста преку влезниот и излезниот отвор, бактериите од надвор заедно со делови од облеката и други нечистотии едноставно се апсорбираат во празнината на раната, така што таа може лесно да се инфицира.

*Ефекти од деформацијата и фрагментацијата на проектилите:* деформацијата на проектилот при неговата пенетрација во ткивото може да биде од два различни вида, при што може да дојде до потполно кршење или фрагментација на проектилот. Деформацијата може да биде намерна, односно самата конструкција на проектилот да биде така изведена да предизвикува негово деформирање при пенетрацијата

<sup>9</sup> 1 atm = 10<sup>5</sup> Pa.

(Слика 5), или може да биде, помалку или повеќе, резултат на превртувањето на проектилот.



Сл. 5. Профил на рана создадена од ловечки "дум - дум" проектил со калибар 7.62 mm SP

**Стабилноста на проектилот:** Движењето на проектилот за време на неговиот лет е сложено и претставува проблем со чие изучување се занимава надворешната балистика. Превртувањето на проектилот во целта е резултат на неговата нестабилност, која може да се појави уште при летот на проектилот и да се зголеми со пенетрацијата во ткивото. Оваа појава е најмногу присутна кај проектилите истрелани од пушките, додека ретко може да се сретне кај пиштолските, револверските, или другите проектили со заоблен врв. Односно, својствена е за проектилите со изострен облик, поради фактот дека нивното тежиште (центарот на гравитацијата) е многу поназад во однос на геометрискиот центар на проектилот.



Сл. 6. Однесување на проектил со потполна кошулка при пене трајција во ткивото

Ова значи дека кога ротирачката (жироскопска) стабилност на проектилот, која му се соопштува во текот на неговото движење низ најдебелиот канал на цевката, ќе се намали и тој почнува да се превртува. До ова доаѓа бидејќи се јавува тенденција неговата потешка страна (задниот дел на проектилот) да биде кон напред, бидејќи тоа е позицијата во која тој ќе има постабилно движење, што доведува до негово завртување за 180° (Слика 6).

Како резултат на претходното, проектилот, во одреден период на неговото движење низ ткивото, ќе биде завртен со неговата страна кон напред, со што рапидно се зголемува површината со која дејствува врз ткивото. Превртувањето на проектилот, исто така, значи дека ќе се зголемат и димензиите на привремената шуплина која притоа се создава (Слика 7).





Сл. 7. Профил на рана создадена од проектил 5,45 mm истрелан од автоматска пушка АК – 74<sup>10</sup>

### 3. Експериментални методи за испитување на дејството на проектилите врз човековото ткиво

Потенцијалот за ранување ја определува способноста на проектилот да предизвика ранување и е пропорционален на количината на енергија што проектилот ја губи при пенетрацијата во ткивото. Тој е единствената големина која може физички (експериментално) да се мери и проценува. Постојат два основни модела кои се однесуваат на предавањето на енергијата која ја поседува проектилот и разорувањето кое тој може да го предизвика:

- *Модел на пробивање (punching) на материјалот:* кога проектилот ќе удри во танки и кршливи слоеви со не многу голема брзина, тогаш материјалот не се деформира туку ќе дојде до избивање на фрагмент (чеп) од материјалот. Направениот отвор има дијаметар кој вообичаено е нешто поголем од калибарот на проектилот. Во овај случај енергијата која проектилот ја ослободил при пенетрацијата се одредува преку размената на ударот и е во врска со внатрешната површина на оформениот отвор, така што може да се одреди според формулата:

$$E_s = C_s d D^2 \quad (2)$$

$E_s$  - енергија која проектилот ја ослободува во целта;

$D$  - дебелина на целта;

$d$  - калибар на проектилот;

$C_s$  - константа која зависи од својствата на материјалот на целта;

- *Модел на поместување (displacing) на материјалот:* ако се работи за деформабилна (мека) цел, како што е случајот со човековото ткиво, материјалот ќе биде поместен на страна при пенетрацијата на проектилот. Пренесената енергија е пропорционална на волуменот на шуплината, која се создава со поместувањето на материјалот. Во терминалната балистика ова е доста познатата и прифатена теорија на Мартел. Според неа ослободувањето на енергијата може да се изрази со формулата:

$$E_v = C_v V \quad (3)$$

$E_v$  - енергија која проектилот ја ослободува во целта;

$V$  - волумен на создадената шуплина;

$C_v$  - константа која зависи од својствата на материјалот на целта;

<sup>10</sup> Автоматска пушка на рускиот конструктор Калашњиков модел од 1974 година со калибар 5,45 mm

Во било која деформабилна цел погодена од проектил, големината на создадената шуплина е пропорционална со енергијата која проектилот ја ослободува поминувајќи низ неа. Поаѓајќи од овај заклучок, ослободената енергија претставува погодна мерка за мерење на потенцијалот за ранување (деструкција) кој го поседува проектилот. Ова значи дека симулаторите на ткивото, кои се употребуваат за експериментални испитувања, можат да бидат прифатливи ако при пенетрацијата во нив проектилот ослободува исто количество енергија како и во реалното ткиво. Друга манифестација е приближно сличниот начина на создавање на деформациите и истата длабочина на пенетрацијата во симулаторот како во реалното ткиво. Од друга страна, симулаторите на ткивото мора да бидат стандардизирани во поглед на квалитетот за да овозможат повторување на резултатите од експериментите.

Денес се користат повеќе материјали како симулатори на ткиво, бидејќи сè уште не е избран и стандардизиран само еден универзален симулатор. Најчесто експерименти се вршат со: блокови од желатин, глицерински сапун, натопени телефонски именици и земјина маса (глина). За секој поединечно се работи на усвојување и стандардизација на методи и постапки за квантификација на добиените резултати од мерењата

#### 4. Заклучок

Денес постојат малокалибарски системи на вооружување и муниција кои можат да предизвикаат ефекти блиски на забранетите "дум - дум" проектили. Правилното проучување и согледување на механичките аспекти на дејството на проектилите врз човековото ткиво се многу битен елемент за правилен избор на методот со кој ќе се врши селекција и забрана на муницијата преку конвенции кои во иднина треба да се донесат. Потенцијалот за ранување, кој фактички ја определува способноста на проектилот да предизвика ранување, е единствената големина која може физички (експериментално) да се мери и проценува, поради што денес се работи на развивање на експерименталните методи за негово мерење.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. K. G. Sellier, B.P. Kneubehl: **Woundballistics and the Scientific Background**, Elsevier, Amsterdam, 1992.
2. T. Seeman: **Wound Ballistics**, Proceed. 5<sup>th</sup> Int. Simp. 1985, J. Trauma Vol. 28, Suppl. 1988.
3. B.P. Kneubehl: **Measuring the Wounding Potential of Rifle and Handgun Bullets**, International Workshop on Wound Ballistics, Thun, 1999.
4. G.M. Moss, D.W. Leeming, C.L. Farrar: **Military Ballistics**, Brassey's (UK) Ltd, London, 1995.
5. N. Kršić: **Bojne glave i upaljači raketnih projektila**, TVA, Zagreb, 1977.
6. K.G. Sellier, B.P. Kneubehl: **Woundballistik und ihre ballistischen Grundlagen**, Springer, Berlin 1992.
7. T.E. Bowen, R.F. Bellamy (eds.): **Emergency War Surgery**, 2<sup>nd</sup> US Revision, NATO Handbook, Washington D.C. US Government Printing office, 1998.
8. V.J.M. DiMaio: **Gunshot Wounds**, New York, Elsevier, 1985.
9. P.J.T. Knudsen: **Wound Ballistics: Forensic and experimental aspects**, International Workshop on Wound Ballistics, Thun, 1997.
10. M. Grant: **Modern Small Arms Ammunition, The Law and "Military Necessity"**, International Workshop on Wound Ballistics, Thun, 1997.
11. B.P. Kneubehl: **Introduction to the Methodology of Wound Ballistics Tests**, International Workshop on Wound Ballistics, Thun, 1997.
12. C.G. Spencer: **Gunshot Wounds**, Oxford Medical Publications, Oxford, 1908.
13. \*\*\* **Anti-personel Weapons**, Stocholm International Peace Research Institute, Taylor and Francis Ltd., London, 1978.