



Agents and Mechanisms of Combat Trauma; High Velocity Missiles

Abolghasem Abasahl¹, Mohammad Ali Mohagheghi^{1*}

¹ Professor, Cancer Research Center, Cancer Institute, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 17 September 2019 Accepted: 3 October 2019

Abstract

Background and Aim: The velocity of war bullets, after firing and leaving the gun, is more than 600 to 700 meters per second. Their destructive effects are dependent on the amount of energy transferred to the tissues of the body. This in turn is related to the physical characteristics of the bullet (shape-size and mass of the bullet) and its velocity at the time of hitting.

Methods: To prepare the article, the library method and review study of information available in the domestic and international databases were used.

Results: The sudden and high energy transfer due to high-velocity missiles, creates a very wide destructive effect by creating the dynamic phenomenon of temporary cavitation in the tissues of the body. Interaction between the projectile and the tissues can cause the bullet to deform and possibly fragmented. The characteristics of the temporal cavity, and the shape and size of the incoming and outgoing wounds, affect the severity of the damage caused by the ammunition.

Conclusion: Most war bullets are of the high velocity, high energy type and their destruction in the human body is very high.

Keywords: Gunshot Wounds, Bullet Wounds, Wound Ballistics, Ballistic Trauma, Penetrating Trauma, Assault Rifle.

* **Corresponding Author:** Mohammad Ali Mohagheghi

Address: Cancer Research Center, Cancer Institute, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Tel: -

E-mail: mamohagheghi@gmail.com



عوامل و مکانیسم ترومای جنگی؛ گلوله‌های پرشتاب جنگی

ابوالقاسم اباسهل^۱، محمدعلی محقق^{۱*}

^۱استاد انستیتو کانسر، مرکز تحقیقات سرطان، دانشگاه علوم تهران، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: سرعت گلوله‌های جنگی بعد از شلیک و خروج از اسلحه، بیشتر از ۶۰۰ تا ۷۰۰ متر در ثانیه است. آثار تخریبی این پرتابه‌های جنگی به میزان انرژی منتقله توسط آنها به بافت‌های بدن بستگی دارد. این موضوع به نوبه خود تحت تأثیر مشخصات فیزیکی گلوله (شکل - اندازه و جرم گلوله) و سرعت آن در زمان اصابت به بدن مرتبط است.

روش‌ها: برای تهیه این مقاله از روش کتابخانه‌ای و مطالعه مروری اطلاعات قابل دسترس در پایگاه رایانه داخلی و بین‌المللی استفاده گردید.

یافته‌ها: انتقال انرژی زیاد و ناگهانی در اثر گلوله‌های پرشتاب جنگی، با ایجاد پدیده دینامیک کاویناسیون موقت (Temporary cavitation) در بافت‌های بدن، آثار تخریبی بسیار گسترده‌ای ایجاد می‌کند. تعامل بین پرتابه و بافت می‌تواند موجب تغییر شکل و احتمالاً قطعه قطعه شدن گلوله شود. مشخصات کاویناسیون موقت، و شکل و اندازه زخم‌های ورودی و خروجی، بر شدت ضایعات ناشی از گلوله‌های پرشتاب جنگی تأثیر دارد (۱).

نتیجه‌گیری: اغلب گلوله‌های جنگی از نوع پرشتاب هستند و میزان تخریب آنها در بدن انسان بسیار زیاد است.

کلیدواژه‌ها: بالیستیک زخم، ترومای نافذ، زخم گلوله، گلوله پرشتاب، تفنگ هجومی.

* نویسنده مسئول: محمدعلی محقق

آدرس: مرکز تحقیقات سرطان، انستیتو کانسر، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

ایمیل: mamohagheghi@gmail.com

تلفن: -



شکل-۱. نمونه گلوله مورد استفاده در تفنگ ژ ۳، با یک فشنگ شلیک نشده آن

پرتابه کم سرعت (Low velocity projectile)

پرتابه‌های با سرعت کمتر از سرعت صوت (Subsonic) (۳۵۰ متر در ثانیه) هستند (۶).

پرتابه‌های با سرعت متوسط یا بینابینی (Medium or intermediate velocities)

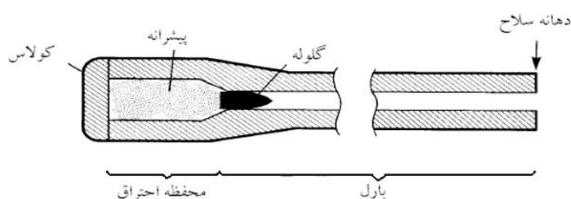
این پرتابه‌ها سرعتی معادل ۳۵۰ تا ۶۰۰ متر دارند.

پرتاب‌شناسی (Ballistics)

در فیزیک به علم بررسی حرکت و پرتاب اشیاء در هوا بالستیک می‌گویند. "بالستیک یا پرتاب شناسی، دانشی است که به بررسی رفتار و کارکرد دینامیکی پرتابه‌های مختلف هنگام حرکت، می‌پردازد. در حقیقت علم بالستیک مقدمه‌ای برای طراحی جنگ افزارهای دقیق‌تر و با کارایی بهتر است. این دانش، بخش‌های مختلفی را شامل می‌شود که عبارتند از: بالستیک داخلی، بالستیک میانی، بالستیک خارجی، بالستیک نهایی و بالستیک جراحی (۸، ۷).

جنگ‌افزار (Armament)

جنگ‌افزار را می‌توان به عنوان ابزاری مکانیکی تعریف کرد که گرمای آزاد شده در اثر احتراق پیشرانه را به صورت انرژی جنبشی درآورده و نتیجه این فرآیند، پرتاب گلوله به سمت هدفی مشخص است (۸) (شکل-۲).



شکل-۲. اجزای بالستیکی اصلی جنگ‌افزار مسلح شده (آماده

شلیک) (۱)

مقدمه

آسیب‌ها و صدمات وارده به اعضاء، نواحی و یا سیستم‌های مختلف بدن (اختلالات فیزیکی، فیزیولوژیک، روانی)، توسط گلوله‌های مورد استفاده در شرایط جنگی، بسیار شدید و خطرناک هستند. مدیریت این نوع تروما به سطح بالای مراقبت‌های هماهنگ بالینی و حمایت‌های بعدی نیاز دارد. طیف آسیب‌ها وسیع و شامل این موارد است: ضربه‌های مغزی (Traumatic Brain Injury)، آسیب به احشای داخلی، قطع اعضاء (Amputation)، آسیب‌های نخاعی (Spinal Cord Injury)، اختلالات بینایی و شنوایی (Visual and hearing impairment)، سوختگی‌ها (Burns)، آسیب‌های عضلانی استخوانی (Musculoskeletal injuries)، و نظایر آنها (۲). بالستیک زخم‌های جنگی شامل مکانیسم‌های نافذ و غیرنافذ آسیب‌رسانی ناشی از گلوله‌های پرشتاب و سریع‌السیر هستند. اغلب گلوله‌های جنگی از نوع پرشتاب هستند و میزان تخریب آن‌ها در بدن انسان بسیار زیاد است. سرعت گلوله‌های جنگی بعد از شلیک و خروج از اسلحه، بیشتر از ۶۰۰ تا ۷۰۰ متر در ثانیه است. مشخصات بالستیکی این پرتابه‌ها، که رایج‌ترین سلاح‌های جنگی هستند و مکانیسم‌های آسیب‌زایی، در این نوشته شرح داده شده است (۳، ۴). در مکانیسم آسیب‌زایی، سرعت گلوله نسبت به وزن آن، در انتقال و آزادسازی انرژی جنبشی در بدن نقشی به مراتب مهم‌تر دارد.

ادبیات نظری

گلوله، مرمی یا پرتابه، جسمی است که از سلاح گرم یا سلاح بادی شلیک می‌شود. گلوله معمولاً از فلز (بیشتر سرب) ساخته می‌شود و معمولاً فاقد مواد منفجره است. آسیبی که گلوله به هدف وارد می‌کند صرفاً ناشی از ضربه جسم جامد آن است. گلوله در سلاح کم‌ری یا تفنگ بخشی از فشنگ است. کلمه فارسی گلوله به صورت «غلوله» و «گلوله» نیز به کار رفته است. واژه گلوله یادگار دوره‌ای است که گلوله در سلاح‌های گرم به صورت کروی ساخته می‌شد. از قرن نوزدهم شکل گلوله‌ها تغییر کرد و به صورت کشیده و نوک تیز یا اسپیتزر درآمد. در برخی از متن‌های مربوط به شکار و تیراندازی واژه «مرمی» نیز که واژه‌ای عربی است، به جای گلوله به کار می‌رود (شکل-۱).

پرتابه پرشتاب (پرتابه پرسرعت) (High velocity projectile)

به پرتابه‌های با سرعت بیشتر از ۶۰۰ تا ۷۰۰ متر در ثانیه گفته می‌شود. در سرعت‌های بالاتر از این آستانه آثار انفجاری (Explosive effects) مشاهده خواهد شد (۵).

بدن. این حجم به محیط نفوذ (پارامتر قبلی) و مرفولوژی گلوله بستگی دارد. در واقع حفره دائمی شکاف یا گسست بافتی است که توسط گلوله در زمان عبور از بافت‌های بدن ایجاد می‌شود.

۳- حفره موقت (Temporary cavity): انبساط حفره دائمی است که توسط انرژی جنبشی منتقله توسط گلوله به داخل بدن، ایجاد می‌شود.

۴- خردشدگی یا قطعه‌قطعه شدن (Fragmentation): این فرایند ناشی از قطعات گلوله یا خرده‌های استخوان است که وارد بدن شده و با عبور از حفره دائمی موجب آسیب بیشتر بافت‌های مجاور و عروق خونی یا اعضای حیاتی می‌شوند. این پارامتر در همه زخم‌های گلوله دیده نمی‌شود.

وجوه مشترک و متفاوت ترومای جنگی و ترومای غیرجنگی (شهری)

یک اصل مهم که به توسعه سیستم‌های ترومای غیرنظامی منطقه‌ای کمک کرده، این نکته است که زنده‌ماندن از آسیب‌های مهم بعد از تروما، به رساندن مصدومین در اولین فرصت ممکن به مراکز مراقبت‌های قطعی بستگی دارد (بیمارستانی که بتواند مراقبت بهینه ارائه نماید). این اصل از عبارت معروف "انتقال بیمار مناسب، به محل مناسب، در زمان مناسب" برگرفته شده است.

وجوه مشترک نظام‌های ترومای نظامی و غیرنظامی (۱۰)

- رهبری سیستم و مرجعیت قانونی، با بودجه کافی برای حفظ زیرساخت‌های یک سیستم پایدار و مقاوم؛
- برنامه‌ریزی و روزآمد نمودن سیستم تروما توسط یک گروه چند رشته‌ای از ذینفعان، بر اساس نیازهای جامعه تحت پوشش نظام تروما؛
- فراهم نمودن، اعتباربخشی و اطمینان از مشارکت نیروی کار پایدار مراقبت از تروما، در سراسر زنجیره مراقبت؛
- اقدامات هماهنگ پیشگیری از آسیب.
- مراقبت‌های قبل از بیمارستان (Prehospital care) که شامل سیستم‌های ارتباطی مؤثر، مراقبت از مصدومین در محل حادثه و حین انتقال، تریاژ به موقع و انتقال مجروحان به سطح مناسب مراقبت‌های بیمارستان می‌باشد؛
- طبقه‌بندی منطقه‌ای امکانات بیمارستانی و تعیین و اعتباربخشی مراکز تروما، با معیارهای تعیین شده برای انتقال بین بیمارستانی، تا اطمینان حاصل شود که بیماران از سطح درمانی مناسب برخوردار می‌شوند.
- انتقال مطمئن بیماران به خدمات توان‌بخشی، با توجه به نیازهای جسمی و روانی اجتماعی آنها؛
- سیستم‌های اطلاعاتی و ثبت تروما در سراسر نظام تروما، برای حمایت از فعالیت‌های مستمر بهبود کیفیت؛
- تحقیق برای تولید شواهد علمی، تدوین دستورالعمل‌های

ضریب بالستیک (Ballistic co-efficiency)

ضریب بالستیک گلوله به میزان آیرودینامیکی و توانایی حفظ انرژی مرمی در برابر نیروی مقاومت جریان هوا است. هر قدر ضریب بالستیک بیشتر باشد، گلوله مقاومت کمتری با هوا دارد، پس بیشتر سرعت می‌گیرد و دیرتر انرژی را از دست می‌دهد. ضریب بالستیک می‌تواند اعداد بین ۰ تا ۱ را دربرگیرد. ضریب بالستیک ساچمه‌های تفنگ بادی بسیار بدتر و پایین‌تر است به همین دلیل ساچمه‌های تفنگ‌های بادی قوس بالستیک بسیار زیاد و نیز افت زیادی دارند (۰/۱۰ تا ۰/۲۰). اما در گلوله‌ها مقدار ضریب بالستیک خیلی بالاتر از ساچمه است (از ۰/۲۵۰ تا ۰/۴۰۰ و ۰/۵۰۰). بیشترین ضریب بالستیک مربوط به فشنگ‌های VLD (Very Low Drag) است که حتی به هزار (به عبارتی نهایت میزان آیرودینامیکی ممکن) می‌رسد (۸).

بالستیک داخلی: حرکت گلوله داخل اسلحه تا قبل از خروج از آن تابع سه شاخص اصلی اندازه و وزن گلوله، مقدار چاشنی انفجار (Gunpowder) در پوک و طول لوله تفنگ یا جنگ افزار می‌باشد.

بالستیک خارجی: مسیر حرکت گلوله از خروجی تفنگ به سوی هدف در آتمسفر در حالتی از شتاب منفی به علت اصطکاک آتمسفریک انجام می‌شود. هرچه فاصله شلیک تا هدف بیشتر باشد، سرعت و شتاب کمتر می‌شود. در این مسیر حرکات پیچیده متعددی گلوله را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

بالستیک نهایی: عبور گلوله جنگی در بدن انسان به عوامل زیادی از جمله پتانسیل آسیب‌زایی اسلحه گرم (Firearm) مورد استفاده، طراحی آن، شکل فیزیکی گلوله، و مشخصات بافتی اعضای مورد اصابت، بستگی دارد. وقتی گلوله به بدن انسان اصابت می‌کند، اگر سرعت گلوله در زمان اصابت به بدن کم و موج فشاری همراه آن ناچیز باشد، حفره (Cavity) دائمی در مسیر عبور گلوله ایجاد می‌شود و نسوج در همان محدوده عبور گلوله تا نقطه توقف یا خروج از بدن به شدت آسیب می‌بینند. در اغلب موارد امواج فشارنده انفجاری اطراف گلوله را احاطه نموده و با ایجاد اثر حفره‌ای (کاویتاسیون) ناشی از موج انفجاری، که بعضاً فشاری معادل ۲۰۰ آتمسفر بر دیواره حفره وارد می‌آورند، تخریب بسیار وسیع بافتی در مسیر عبور گلوله از بدن را موجب می‌شوند.

مکانیسم‌های آسیب‌زایی توسط گلوله‌های پرشتاب (۹)
چهار پارامتر اصلی در ایجاد زخم و آسیب به علت اصابت گلوله جنگی پرشتاب به بدن، دخالت دارند:

- ۱- شرایط محیط نفوذ (Penetration medium) گلوله: مشخصات فیزیکی و بیولوژیکی بافت محل اصابت و ورود گلوله به بدن که ممکن است موجب تغییر مسیر یا تغییر شکل آن گردد.
- ۲- حفره دائمی (Permanent cavity): حجم و فضای اشغال شده توسط بافت‌های تخریب شده در مسیر عبور گلوله در

- درمانی برای مراقبت، و دستیابی به نتایج بهینه
- ادغام با برنامه های آمادگی در برابر بلایا (Disaster preparedness programs):

تفاوت های نظام های ترومای نظامی و غیرنظامی (۱۱)

- ترومای جنگی تفاوت های صوری و ماهوی فراوانی با ترومای غیرجنگی (شهری) دارد. رؤس این تفاوت ها به شرح زیر است:
- مکانیسم متفاوت تروما؛
 - محیط متفاوت مراقبت های پزشکی؛
 - عواملی مخدوش کننده از قبیل سن، شرایط اجتماعی و عوامل زمینه ای؛
 - امداد رسانی تحت آتشباری دشمن باید انجام شود.
 - ابهام، تیرگی و مخوف بودن شرایط؛
 - شرایط محیطی کاملاً متفاوت؛
 - اپیدمیولوژی متفاوت جراحات؛
 - محدودیت تجهیزات؛
 - تعدد مجروحین؛
 - لزوم به کارگیری مانورها و تاکتیک های نظامی؛
 - تأخیر طولانی تا رسیدن به مراقبت های تخصصی بیمارستانی؛
 - تفاوت آموزش و تجربه ارائه کنندگان خدمات؛

مکانیسم آسیب زایی گلوله های پرشتاب در بدن انسان (بالیستیک گلوله های جنگی)

سرعت و اندازه (حجم و وزن و شکل فیزیکی) گلوله های پرشتاب جنگی بالاترین حد آسیب و تخریب بافتی را در بدن ایجاد می کنند. پتانسیل ایجاد زخم توسط گلوله های جنگی (The bullet's wounding potential) به عوامل مختلف بستگی دارد که ساختار فیزیکی گلوله و ویژگی های فیزیکی بافت های مورد اصابت از مهم ترین عوامل تعیین کننده در شدت و وخامت زخم های حاصله به شمار می روند. سرنوشت نهایی زخم به سرعت و جرم گلوله پرتاب شده برای رسیدن به عمق بدن و همچنین ساختارهای حیاتی محل اصابت بستگی دارد. گلوله در حین عبور از بدن موجب تخریب و له شدگی بافت ها در مسیر عبور و یک حاشیه قابل توجه از نسوج مجاور، از هم گسستگی و کشیدگی بافتی (Tissue stretch) با جابه جایی (کاویتاسیون موقت) می شود. پدیده کاویتاسیون موقت بسته به دیامتر و سرعت گلوله و نیز نوع و محل بافت، ممکن است موجب آسیب بیشتر شود و یا برعکس آسیب کمتری ایجاد نماید (۱۲).

کشش بافتی در بافت های مختلف بسیار متفاوت تحمل خواهد شد. گلوله های سنگین تر و با سرعت کمتر موجب تخریب بیشتر بافتی و ایجاد کاویتاسیون موقت کمتر می شوند. اغلب پتانسیل ایجاد زخم توسط یک گلوله سبک و پرسرعت صرف ایجاد کاویتاسیون موقت بزرگتر می شود، اما چنین گلوله ای حفره دائمی

کوچک تری بر جای می گذارد و بافت کمتری را تخریب می کند. سایر مؤلفه های اولیه زخم ناشی از گلوله های جنگی پرشتاب عبارتند از: «ویژگی های فیزیکی بافتی که گلوله از آن عبور می کند نظیر الاستیسیته بافت، دانسیته بافت، انسجام بافتی (Tissue cohesiveness)، ساختار درونی بافت»، «قطر، شکل، اندازه و سرعت پرتابه»، «قابلیت تغییر شکل دادن و انحناء پذیری پرتابه و یا تبدیل شدن آن به چند قطعه و ساختار داخلی آن»، «طول مسیر عبور پرتابه و اینکه امکان تغییر شکل دادن و انحناء یافتن به پرتابه می دهد» (۱۳).

مدل های تجربی بررسی زخم های ناشی از گلوله های جنگی

این مطالعات عمدتاً به صورت تجربی با بررسی زخم های بافت نرم عضلات ران، روی مدل های حیوانی (نظیر الگوی Swedish swine model) مورد بررسی قرار گرفته اند (۱۴). میزان آسیب، از طریق تعیین میزان عضلات دربرید شده در جراحی، اندازه گیری می شد (۱۵). واژه "ترومای پرتابه پرانرژی" (High energy missile trauma) برای خاطر نشان ساختن شدت آسیب و تخریب در اطراف کانال نهائی عبور گلوله از نسوج (Permanent wound channel (permanent cavity)، به صورت منطقه ای از بافت های له شده، کم خون و یا مرده استفاده گردیده است (۱۶).

سرعت و انرژی پرتابه های پرشتاب جنگی

اگرچه در منابع علمی، واژه "high energy"، در شرایط جاری برای نشان دادن مکانیک ایجاد آسیب در زخم های جنگی، ترجیح داده می شود، واژه "high velocity" هم چنان برای توصیف "شدت تخریب" ناشی از سلاح های رایج جنگی استفاده می شود (۱۷). گلوله های شلیک شده از تفنگ های جنگی، در لحظه خروج از دهانه، دارای سرعتی معادل ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بر ثانیه هستند، بنابراین فراتر از حد پایه برای دامنه سرعت بالای گلوله های پرشتاب (محدوده ۶۰۰ تا ۷۶۰ متر بر ثانیه) قرار دارند. در تفنگ های دستی و تپانچه های غیرجنگی (شهری) سرعت پرتابه های خروجی بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر بر ثانیه است (۱۸). چنانچه سرعت پرتابه های خروجی کمتر از سرعت صوت باشد (۳۳۴ متر بر ثانیه)، کم شتاب (Low velocity) و سرعت های بین ۳۳۴ تا ۶۰۰ متر بر ثانیه بینابینی (Intermediate velocity) تعریف می شوند. اگرچه پتانسیل تخریبی پرتابه های پرشتاب، بسیار بیش از پرتابه های کم-شتاب است، تنها عامل ایجاد کننده آسیب، سرعت آنها نیست.

مفهوم انتقال انرژی به بافت های مورد اصابت توسط پرتابه های جنگی

طبق قانون دوم حرکت نیوتن، شتاب (یا کاهش شتاب) (Acceleration or deceleration) یک جسم متحرک توسط

مکانیسم غالب ایجاد آسیب در زخم‌های ناشی از شلیک گلوله جنگی

مکانیسم غالب ایجاد تخریب بافتی توسط پرتابه‌های جنگی، بارگذاری فشاری پرتابه است که موجب له‌شدگی، شکاف و بریدگی بافت‌ها می‌شود، در حالی که کاویتاسیون موقت، اغلب آسیب‌های غیرمستقیم و کششی ایجاد می‌کند (۲۲). پاسخ بدن به فرایند کاویتاسیون، به چگالی و ترکیب بافت مبتلا بستگی دارد. ارگان‌های متراکم با چگالی بالا مانند کبد و کلیه‌ها، به‌علت مقاومت کششی پائین (Low tensile strength)، از اثرات کششی کاویتاسیون موقت صدمات بیشتری متحمل می‌شوند و آسیب بیشتری می‌بینند (۲۳). عضلات نیز به‌علت چگالی بالا، مستعد آسیب‌های ناشی از کاویتاسیون هستند، اگرچه، انرژی تغییر شکل تا حدی توسط اجزاء الاستیک بافت عضلانی جذب می‌شود. از سوی دیگر، پارانشیم اسفنجی ریه، نسبت به سایر بافت‌ها و عضلات جداری قفسه صدری، آسیب به‌مراتب کمتری می‌بیند (به‌علت الاستیسیته بالا و چگالی کم) (۲۴). به‌همین دلیل در شرایط جاری زخم‌های بدون عارضه ناشی از شلیک گلوله به ریه، کمتر به مداخله جراحی نیاز پیدا می‌کنند (۲۵). آناتومی موضعی ممکن است آسیب‌های ناشی از کاویتاسیون موقت را افزایش دهد. ارگان‌هایی که به ساختارهای مجاور ثابت شده‌اند (مانند کلیه‌ها)، در مقایسه با ارگان‌های متحرک‌تر (مانند روده باریک)، آسیب به‌مراتب بیشتری از نیروهای برشی ناشی از انبساط کاویتاسیون موقت، متحمل می‌شوند (۲۶).

نتیجه‌گیری

گلوله‌های پرشتاب جنگی انواع مختلفی از آسیب‌ها را ایجاد می‌کنند. شناخت مکانیسم ایجاد آسیب توسط پرتابه‌های پر انرژی، لازمه درمان صحیح زخم‌ها و سایر آسیب‌های حاصله است.

تضاد منافع: در این مطالعه تضاد منافی وجود ندارد.

منابع

1. Stefanopoulos PK, Mikros G, Piniadis DE, Oikonomakis IN, Tsiatis NE, Janzon B. Wound ballistics of military rifle bullets: an update on controversial issues and associated misconceptions. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2019; 87(3):690-8. doi:10.1097/TA.0000000000002290
2. Gootkin J. Combat Related Polytrauma, from: https://cheapceus.com/course_
3. Alexandropoulou CA, Panagiotopoulos E. Wound ballistic mechanisms caused by missile entrance in human body cranium. *Health Science Journal*. 2012; 6(1):33.
4. Alexandropoulou CE, Panagiotopoulos EE. Traumatic Ballistics: Analysis of Pathological Situations and Confrontation of Wounds Caused from the Entrance of Missiles in the thoracic cavity. *Hellenic Journal of Nursing Science*. 2009; 2(3):53-57.

یک نیروی کاربردی، منجر به انتقال انرژی می‌شود. کار انجام شده انتگرال نیرو در طول مسافت حرکت است. میزان انتقال انرژی در طول کانال زخم، به‌دلیل رفتار گلوله (تغییر شکل، انحناء و ناهمگن شدن) یکنواخت نیست. "خصوصیات انتقال انرژی" می‌تواند با دقت بیشتری در زمان دبریدمان زخم ارزیابی شود. مقدار بافت دبرید شده با افزایش جذب انرژی در مسیر کانال زخم تناسب دارد و هر دو عامل با عمق نفوذ در بافت کاهش می‌یابند. رابطه بین میزان آسیب بافت نرم و انتقال انرژی خطی نیست. علیرغم تأثیر متقابل پارامترهای مرتبط با پرتابه و زخم، میزان انتقال انرژی، تعیین‌کننده تخریب حاصله از اصابت گلوله‌های جنگی است.

حفره (کاویته) موقت

از نقطه نظر بالیستیک، وجه مشخصه آزاد شدن انرژی زیاد و ناگهانی در بافت‌های هدف، ایجاد حفره است که طی آن پرتابه مقداری از انرژی خود را برای اتساع و گسترش کانال نفوذ به اطراف انتقال می‌دهد (۱۹). در بافت، پرتابه، انرژی جنبشی خود را به اجزاء بافتی تماس یافته منتقل می‌کند، این اجزاء به‌طور شعاعی تشدید و یک کاویته ایجاد می‌کنند. چنانچه تعادل پرتابه به‌هم خورد (تغییر مسیر یا جهت دهد)، مقدار بیشتری از انرژی جنبشی خود را آزاد ساخته، کاویته بزرگ‌تری ایجاد خواهد شد. این پدیده روش دیگری برای نشان دادن رابطه بین میزان انتقال انرژی و بزرگی کاویتاسیون است (۲۰). انبساط دینامیکی کاویته موجب ایجاد خلاء نسبی شده (atmospheric levels Pressure at sub)، که به‌نوبه خود، باکتری‌ها و اجسام خارجی را به‌درون زخم می‌مکد. کاویته، در حدود یک هزارم ثانیه بعد از عبور پرتابه، به حداکثر ابعاد خود می‌رسد. بعد از آن در محیط‌های الاستیک، انرژی کششی باعث کلاپس کاویته می‌شود. وجه تسمیه کاویته موقت نیز به همین دلیل است (۲۱).

5. Bellamy RF, Zajtchuk R. Conventional warfare: ballistic, blast, and burn injuries. Washington, DC: Walter Reed Army Medical Center, Office of the Surgeon General; 1991, p.107-162.
6. Jandial R, Reichwage B, Levy M, Duenas V, Sturdivan L. Ballistics for the neurosurgeon. *Neurosurgery*. 2008; 62(2): 472-480. doi:10.1227/01.neu.0000316015.05550.7a
7. Kia H, Mehdipour Omrani A. Fundamentals of Ballistics. Malek Ashtar University, first edition, 2012, <http://www.mut.ac.ir> [Persian]
8. Association of shooting and familiarity with Rifles weapon: Familiarity with the ballistic coefficient of bullets. <http://rifles.ir/archive/index> [Persian]
9. Alexandropoulou CE, Panagiotopoulos EE. Traumatic Ballistics: Analysis of Pathological Situations and Confrontation of Wounds Caused from the Entrance of Missiles in the thoracic cavity.

- Hellenic Journal of Nursing Science. 2009; 2(3):53-57.
10. Rotondo MF, Cribari C, Smith RS, American College of Surgeons Committee on Trauma. Resources for optimal care of the injured patient. Chicago: American College of Surgeons. 2014; 6.
11. MAJ Daniel J Stinner M, Joseph CW, COL James R Ficke, Col Wade Gordon, James Toledano, R Carlini, et al. Military and civilian collaboration: the power of numbers. *Military Medicine*. 2017;182, 3/4:10. doi:10.7205/MILMED-D-16-00138
12. Fackler ML. Civilian gunshot wounds and ballistics: dispelling the myths. *Emergency medicine clinics of North America*. 1998; 16(1):17-28. doi:10.1016/S0733-8627(05)70346-1
13. Alexandropoulou CA, Panagiotopoulos E. Wound ballistics: analysis of blunt and penetrating trauma mechanisms. *Health Science Journal*. 2010; 4(4):225.
14. Janzon B, Schantz B, Seeman T. Scale effects in ballistic wounding. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1988; 28(1):S29-32. doi:10.1097/00005373-198801001-00008
15. Albrecht M, Šćepanović D, Ceramilac A, Milivojević V, Berger S, Tasić G, et al. Experimental soft tissue wounds caused by standard military rifles. *Acta Chir Scand Suppl*. 1979; 489:185-198.
16. Janzon B, Seeman T. Muscle devitalization in high-energy missile wounds, and its dependence on energy transfer. *J Trauma*. 1985; 25(2):138-144. doi:10.1097/00005373-198502000-00009
17. Bartlett CS, Bissell BT. Common misconceptions and controversies regarding ballistics and gunshot wounds. *Tech Orthop*. 2006; 21(3):190-199. doi:10.1097/01.bto.0000240269.28361.17
18. Kneubuehl BP. Wound Ballistics: Basics and Applications. Translation of the revised 3rd German Edition (2008). Berlin: Springer; 2011. doi:10.1007/978-3-642-20356-5_2
19. Rosenberg Z, Dekel E. Terminal Ballistics. 2nd Ed. Singapore: Springer; 2016:67. doi:10.1007/978-981-10-0395-0
20. Zukas JA. Impact dynamics: theory and experiment. Technical Report ARBRLTR-02271. US Army Ballistic Research Laboratory, APG, MD; 1980: https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a093502.pdf. Accessed January 7, 2019.
21. Haag LC. Base deformation of full metal-jacketed rifle bullets as a measure of impact velocity and range of fire. *Am J Forensic Med Pathol*. 2015; 36(1):16-22 doi:10.1097/PAF.000000000000105
22. Peters CE, Seburn CL. Wound ballistics of unstable projectiles. Part II: temporary cavity formation and tissue damage. *J Trauma*. 1996; 40(Suppl 3):S16-S21. doi:10.1097/00005373-199603001-00003
23. Penn-Barwell J. Ballistic trauma-considerations for the orthoplastic surgical team. *IJOPS*. 2018; 1(2):47-54. doi:10.29337/ijops.16
24. Khandhar SJ, Johnson SB, Calhoon JH. Overview of thoracic trauma in the United States. *Thorac Surg Clin*. 2007; 17(1):1-9. doi:10.1016/j.thorsurg.2007.02.004
25. Emergency War Surgery. 5th United States Revision. Fort Sam Houston, TX: Borden Institute; 2018.
26. Giannou C, Baldan M. War Surgery: Working with Limited Resources in Armed Conflict and Other Situations of Violence. Vol. 1. Geneva: The International Committee of the Red Cross (ICRC); 2010.