

Jacek Dorskocz

LeoXR sp. z o.o. w Radomiu

<https://orcid.org/0000-0002-5299-2465>

Rafał Radowiecki

LeoXR sp. z o.o. w Radomiu

<https://orcid.org/0009-0005-3177-3991>

Henryk Wojtaszek

Wyższa Szkoła Kształcenia Zawodowego we Wrocławiu

<https://orcid.org/0000-0002-3082-1219>

Mateusz Ziętarski

Pomorska Szkoła Wyższa w Starogardzie Gdańskim

<https://orcid.org/0000-0003-2960-7669>

Agnieszka Dorskocz

LeoXR sp. z o.o. w Radomiu

<https://orcid.org/0009-0003-0453-6857>

Przegląd nowoczesnych metod szkolenia i treningu strzelania dla szkół mundurowych uwzględniając trendy technologiczne i badania naukowe

Streszczenie

W ostatnich latach rozwój technologii cyfrowych i immersyjnych znacząco wpłynął na metody szkolenia strzeleckiego w szkołach mundurowych. Niniejszy artykuł stanowi kompleksowy przegląd nowoczesnych systemów edukacji i treningu z broni palnej, ze szczególnym uwzględnieniem wirtualnej rzeczywistości (VR), wirtualnych strzelnic (VR CAVE) oraz laserowych trenażerów (tarcze z fotokomórkami). Analizowane są również aktualne badania naukowe potwierdzające skuteczność tych innowacyjnych metod, w tym ich wpływ na szybkość przyswajania umiejętności, poprawę precyzji, retencję wiedzy oraz przygotowanie funkcjonariuszy do realnych sytuacji. Ponadto artykuł omawia aspekty bezpieczeństwa, koszt-efektywności oraz adaptacyjności treningów w kontekście współczesnych wyzwań w szkoleniu służb mundurowych. Przedstawione w publikacji wnioski

mogą wspierać rozwój nowatorskich programów edukacyjnych, optymalizujących proces przygotowania przyszłych funkcjonariuszy do wykonywania zadań w dynamicznym i wymagającym środowisku operacyjnym przy korzystaniu z oprogramowania VR jest DroneHunting.EU.

Słowa kluczowe: trening strzelania, nauka strzelania, strzelanie VR, technologie VR w obronności

Review of Modern Methods of Shooting Training and Practice for Uniformed Schools, Considering Technological Trends and Scientific Research

Abstract

In recent years, the development of digital and immersive technologies has significantly influenced shooting training methods in uniformed schools. This article provides a comprehensive review of modern firearm education and training systems, with particular emphasis on virtual reality (VR), virtual shooting ranges (VR CAVE), and laser training systems (targets with photodetectors). It also analyzes current scientific research confirming the effectiveness of these innovative methods, including their impact on skill acquisition speed, accuracy improvement, knowledge retention, and officers' preparedness for real-life scenarios. Furthermore, the article discusses safety, cost-effectiveness, and adaptability aspects of training in the context of contemporary challenges faced by uniformed services. The conclusions presented here may support the development of innovative educational programs that optimize the preparation of future officers for operations in dynamic and demanding environments, using VR-based software such as DroneHunting.EU.

Keywords: shooting training, learning to shoot, VR shooting, VR technologies in defense

Wprowadzenie

Szkolenie strzeleckie jest fundamentalnym elementem przygotowania funkcjonariuszy służb mundurowych, niezbędnym do zapewnienia skutecznej i bezpiecznej reakcji w sytuacjach kryzysowych. Tradycyjne metody szkolenia, opierające się głównie na strzelaniu ostrą amunicją na poligonach, są często czasochłonne, kosztowne i wymagają skomplikowanej logistyki.[1,2,3,4] Ograniczony dostęp do strzelnic i wysokie koszty amunicji narzuciły konieczność poszukiwania alternatywnych, zaawansowanych technologicznie rozwiązań[4,5].

W odpowiedzi na te wyzwania, technologia wirtualnej (VR) i rozszerzonej rzeczywistości (XR) oferuje znaczący potencjał transformacji szkolenia, umożliwiając przeprowadzanie immersyjnych symulacji w dowolnym miejscu i czasie[1,2,6]. Nowoczesne systemy symulacyjne pozwalają na wielokrotne powtarzanie scenariuszy, ograniczając ryzyko dla uczestników i środowiska[2,7], jednocześnie umożliwiając bezpieczne popełnianie błędów, z których funkcjonariusze mogą się uczyć.

Niniejszy artykuł dokonuje przeglądu trzech kluczowych, nowoczesnych metod treningu strzeleckiego stosowanych i badanych w kontekście szkolenia służb mundurowych.

2. Metody szkolenia i treningu bazujące na nowoczesnych technologiach

2.1 Metoda bazująca na technologii wirtualnej rzeczywistości (Gogle VR)

Wirtualna Rzeczywistość (VR) z wykorzystaniem gogli typu HMD (Head-Mounted Display) zapewnia pełną immersję, co jest kluczowe dla skuteczności symulacji. Rosnąca dostępność i przystępność cenowa konsumenckich zestawów VR o wysokiej rozdzielczości (np. platforma Meta Quest) przyczyniła się do wzrostu zainteresowania immersyjnym treningiem i symulacją w środowiskach policyjnych i akademickich [5,6]. Przykładem tego typu rozwiązaniem na jest DroneHunting.eu. VR jest powszechnie wykorzystywana w szkoleniu funkcjonariuszy, w tym do treningu strzeleckiego [10]. Tego rodzaju symulacje pozwalają na:

- **Wpływ na psychofizjologię i gotowość poznawczą:** Kluczowym elementem jest opanowanie specyficznych reakcji psychofizjologicznych związanych z kontrolowanym oddychaniem podczas strzelania [11]. VR umożliwia odtwarzanie realistycznych scenariuszy, które wywołują ostrą reakcję stresową, porównywalną do

tej w warunkach rzeczywistych[12,13,14]. Badania wykazały, że VR może być wykorzystywana do treningu z uwzględnieniem oddychania, co poprawiło kontrolę oddechu u 8 z 9 uczestników treningu w wirtualnym środowisku akcji[16,17]. Systemy, takie jak BioPhyS, wykorzystują dane neurofizjologiczne (EEG) i sercowo-naczyniowe (HRV) do tworzenia psychofizjologicznego modelu szkolenia, który służy do projektowania adaptacyjnych systemów treningowych (tzw. adaptacja biocybernetyczna) [18,19,20,21]. Taka integracja umożliwia trenowanie **gotowości poznawczej** (ang. *cognitive readiness*).

- **Trening decyzyjności i redukcja uprzedzeń:** Wiele symulacji VR koncentruje się na podejmowaniu decyzji użycia siły (*shoot/don't shoot*), deeskalacji i niwelowaniu uprzedzeń [10,24]. VR jest przydatnym narzędziem do badania uprzedzeń rasowych w decyzjach o użyciu siły śmiertelnej i w scenariuszach strzeleckich. Wykazano, że trening w VR może poprawiać umiejętności deeskalacji oraz zmniejszać uprzedzenia wobec osób z problemami psychicznymi [27]. Uczestnicy cywilni, którzy ukończyli szkolenie w VR, wykazali wyższy poziom wiedzy, motywacji i poczucia własnej skuteczności w scenariuszu aktywnego strzelca[28,29]. Szkolenia oparte na VR mogą zwiększyć wrażliwość funkcjonariuszy na własne zachowanie.
- **Wierność (Fidelity) i Imersja:** VR może zapewnić immersyjne środowiska szkoleniowe, które można prowadzić w dowolnym miejscu i czasie[1,5,6]. Immersyjna VR (HMD) może powodować **ostrą reakcję stresową** porównywalną do realistycznego treningu scenariuszowego[15,31]. Zastosowanie pełnych awatarów w wieloosobowej wirtualnej rzeczywistości może zwiększać poczucie zagrożenia i realizm[32,35]. Badania sugerują również, że fizyczne rekwizyty, takie jak **dotykowy pas taktyczny** (ang. *Tangible Tactical Belt*) z replikami broni i kajdanek, wzmacniają realizm haptyczny i immersję[34,35].
- **Elastyczność i bezpieczeństwo:** VR pozwala na prowadzenie powtarzalnego treningu, który byłby trudny lub niemożliwy do zaaranżowania w rzeczywistym świecie ze względu na niepraktyczność inscenizacji [36]. Jest to bezpieczniejsze niż konwencjonalne ćwiczenia, umożliwiając bezpieczną interakcję z niebezpiecznymi narzędziami, takimi jak materiały wybuchowe, lub bezpieczne włączanie do symulacji osób należących do grup wrażliwych, takich jak dzieci [37,38].

2.2 Metoda bazująca na wyświetlaczu multimedialnym (Projekcyjna strzelnica wirtualna)

Ta metoda, znana również jako projekcyjna strzelnica wirtualna lub uproszczona wersja CAVE, wykorzystuje wyświetlacz multimedialny lub projekcję na jednej ścianie. Symulator broni palnej wysyła znacznik laserowy na ekran [39,40]. Specjalna kamera, wykorzystująca przetwarzanie obrazu, wykrywa współrzędne (x, y) trafienia wiązki laserowej [40,41].

Kluczowe zalety i zastosowania tej metody w szkoleniu:

- **Przetwarzanie Obrazu i Precyzja:** Systemy te osiągają wysoką precyzję detekcji uderzenia. Przykładowy prototyp laserowy (PLP) osiągnął dokładność 95,4% z latencją poniżej 80 ms, wykorzystując przetwarzanie obrazu, w tym normalizację radiową i filtr Gaussian defocus, w celu zminimalizowania zakłóceń szumem i poprawy spójności w różnych warunkach oświetleniowych [40,41,42].
- **Adaptacyjność i Mobilność:** Metody oparte na przetwarzaniu obrazu do detekcji uderzenia laserem mogą być projektowane jako systemy przenośne i bezprzewodowe, co pozwala na ich użycie w różnych warunkach terenowych i oświetleniowych, bez konieczności stosowania kabli zasilających czy transmisyjnych (np. system PLP) [40,41,43,44].
- **Realizm interakcyjny:** Chociaż nie zapewnia pełnej immersji VR-HMD, systemy te mogą być integrowane z replikami broni palnej, które posiadają systemy elektromechanicznego odrzutu, zwiększając realizm doświadczenia strzeleckiego [5, 45].

2.3 Metoda bazująca na tarczach z fotokomórką (Laserowe Trenażery Strzeleckie - LMTS)

Laserowe Trenażery Strzeleckie (LMTS, ang. *Laser Marksmanship Training System*) to urządzenia oparte na laserze, wykorzystywane do szkolenia strzeleckiego z użyciem zmodyfikowanej broni służbowej [46,47]. Systemy te pozwalają na zaoszczędzenie czasu i amunicji [46,48]. Wykazano ich potencjał w przewidywaniu wyników strzelania ostrą amunicją zarówno z karabinów, jak i pistoletów [48,49,50].

- **Wzmacnianie Podstaw:** LMTS wspiera realistyczny i kompleksowy Program Szkolenia Strzeleckiego (POI), umacniając podstawowe zasady strzelania, ponieważ żołnierze używają swojej faktycznej broni [47].
- **Ograniczenia Balistyczne:** Laserowe systemy treningowe (np. MARS) opierały się na technologii podczerwieni laserowej, która **nie uwzględniała balistycznej trajektorii**

pocisku (sześciu stopni swobody). Jest to istotne ograniczenie, gdyż strzelcy muszą rozumieć krzywą balistyczną i odpowiednio korygować celowanie w zależności od odległości do celu. Nowoczesne systemy VR pokonują tę lukę, implementując algorytm trajektorii pocisku w sześciu stopniach swobody (6-DOF) [51,52,53].

3. Trendy technologiczne i badawcze

3.1 Adaptacyjność i sztuczna inteligencja (AI)

Integracja Sztucznej Inteligencji (AI) jest kluczowym trendem w rozwoju symulatorów wojskowych i policyjnych, umożliwiając tworzenie dynamicznych i realistycznych scenariuszy [54,55,56].

- **Adaptacja Biocybernetyczna:** Systemy VR, takie jak BioPhyS, wykorzystują dane fizjologiczne (EEG, HRV) do ciągłego monitorowania stanu psychofizjologicznego funkcjonariuszy podczas strzelania [18,19]. AI może wykorzystywać te dane w czasie rzeczywistym, aby dynamicznie dostosowywać trudność symulacji (np. prędkość celów, intensywność deszczu) w celu **maksymalizacji pożądanego stanu psychofizjologicznego** (np. skupienia i spokoju), co jest określane jako adaptacja biocybernetyczna [6,20,22,57].
- **AI-Driven Scenarios:** Symulatory oparte na AI mogą **dostosowywać scenariusze w czasie rzeczywistym** w zależności od działań szkolonego, co czyni doświadczenie bardziej spersonalizowanym i nieprzewidywalnym [55,56,58]. AI może również dynamicznie generować materiały szkoleniowe, dostosowując się do indywidualnego poziomu trudności [36,59].

3.2 Wierny realizm (Balistyka i Sprzężenie Zwrotne)

Aby zapewnić, że umiejętności nabyte w symulacji przekładają się na rzeczywiste warunki (*skill transfer*), niezbędna jest wysoka wierność (ang. *fidelity*) [6,52,60].

- **Modelowanie:** Zaawansowane symulatory VR, implementują algorytm trajektorii pocisku w sześciu stopniach swobody (6-DOF). Ten zaawansowany silnik balistyczny uwzględnia wpływ grawitacji, oporu powietrza, wiatru i znoszenia. Badania wykazały, że szkolenie z użyciem takich systemów znacząco poprawiło celność strzelania (K-2C1) ostrą amunicją w porównaniu z grupami kontrolnymi [51,52,53].

- **Sprężenie zwrotne haptyczne:** W celu zwiększenia realizmu, repliki broni powinny mieć mechanizmy odrzutu (np. sprężone powietrze) [61,62]. Dodatkowo, fizyczne rekwizyty, takie jak **dotykowy pas taktyczny** [34], oraz możliwość symulacji multisensorycznych bodźców stresowych (np. pogodowych) zwiększają realizm i immersję [63,64,65].

3.3 Bezpieczeństwo i koszt-efektywność

Nowoczesne symulatory są cenione za **bezpieczeństwo i oszczędność** [2, 4] .

- **Bezpieczeństwo:** VR/XR pozwala na bezpieczny trening w sytuacjach wysokiego ryzyka (np. aktywny strzelec, incydenty użycia siły) w kontrolowanym środowisku, bez narażania uczestników na niebezpieczeństwo [2,7, 37, 38].
- **Koszt-efektywność:** Trening VR pozwala na oszczędność kosztów logistycznych, czasu i amunicji w porównaniu z tradycyjnym treningiem [2,3,4,5,25,66]. Choć początkowy koszt opracowania systemów może być wysoki, długoterminowe oszczędności są znaczące [25,40]. Badania wskazują, że strzelanie ostrą amunicją jest drogie, ryzykowne i ograniczone przez czas, przestrzeń i klimat, natomiast VR eliminuje te ograniczenia [3,4].

4. Wnioski

Nowoczesne metody szkolenia strzeleckiego, bazujące na zaawansowanych technologiach, stanowią istotną ewolucję w przygotowaniu funkcjonariuszy służb mundurowych.

Laserowe Trenażery Strzeleckie (LMTS) i projekcyjne strzelnice wirtualne stanowią koszt-efektywną i mobilną opcję do treningu podstawowych technik i świadomości sytuacyjnej, oferując natychmiastową informację zwrotną o trafieniu [40,41,44]. Mają one jednak historyczne ograniczenie w wiernym odtwarzaniu balistyki na dłuższych dystansach, co jest kluczowe dla zaawansowanego strzelania [52].

Technologie Wirtualnej Rzeczywistości (VR) (Gogle VR), szczególnie te zintegrowane z modelowaniem 6-DOF, stanowią najbardziej **kompleksowe i zaawansowane** narzędzie. Integracja AI i danych psychofizjologicznych (np. EEG, HRV) umożliwia trening gotowości

poznawczej i kontroli emocjonalnej w sytuacjach wysokiego stresu, co jest niemożliwe do osiągnięcia za pomocą prostszych metod [18,20,22].

W kierunku przyszłego rozwoju, kluczowe jest dążenie do pełnej wierności (fidelity), w tym modelowania balistycznego (6-DOF) w VR, co jest niezbędne, aby trening wirtualny przekładał się na poprawę celności w strzelaniu ostrą amunicją [51,52].

5. Podsumowanie: Dominująca rola i skuteczność technologii VR

Technologie Wirtualnej Rzeczywistości (VR) mają największe znaczenie i skuteczność w nowoczesnym szkoleniu strzeleckim dla służb mundurowych, ponieważ tylko VR łączy kluczowe zalety techniczne, psychologiczne i logistyczne.

1. **Imersja i Realizm Scenariuszowy:** VR z wykorzystaniem HMD oferuje pełną imersję, która umożliwia symulację realnych, złożonych i ryzykownych scenariuszy, takich jak incydenty z aktywnym strzelcem czy użyciem siły (*shoot/don't shoot*), które są zbyt niebezpieczne lub kosztowne do powtórzenia w realu [1,2,4, 10, 37,38]. Pełne awatary ciała w immersyjnym VR zwiększają poczucie zagrożenia, co przekłada się na bardziej realistyczną reakcję psychiczną [32,33].
2. **Trening Decyzyjności i Redukcja Stresu:** Badania potwierdzają, że VR jest kluczowa dla treningu poznawczego i decyzyjności w sytuacjach stresowych [10, 24]. Systemy VR umożliwiają stosowanie adaptacji biocybernetycznej, która, poprzez monitorowanie EEG i HRV, pomaga funkcjonariuszom trenować **gotowość poznawczą** i utrzymywać kontrolę fizjologiczną (np. kontrolę oddechu) pod presją – co jest bezpośrednio powiązane z wydajnością strzelecką w krytycznych sytuacjach [18,20,22]. Trening VR może prowadzić do ostrej reakcji stresowej, która jest podobna do tej obserwowanej w realnym treningu scenariuszowym, co jest dowodem na **wysoką wierność psychologiczną** symulacji [15,31].
3. **Wierność Balistyczna i Transfer Umiejętności:** Podczas gdy tradycyjne trenażery laserowe mają ograniczenie w symulowaniu balistyki pocisku, nowoczesne symulatory VR integrują algorytmy sześciu stopni swobody (6-DOF). Badania wykazały, że ten typ szkolenia w VR znacząco poprawił **celność strzelania ostrą amunicją** (live-fire accuracy)[51,52], co jest najważniejszym dowodem na transfer umiejętności do

rzeczywistości. Co więcej, VR jest skutecznym medium do szkolenia taktycznej kontroli wzroku, świadomości sytuacyjnej i umiejętności deeskalacji [27,67].

4. **Skalowalność i Ekonomia:** Dzięki przystępnym cenowo goglom VR i możliwości dostarczania treningu „*anywhere, anytime*”, VR eliminuje wąskie gardła związane z dostępem do kosztownych fizycznych obiektów i amunicji, co czyni ją **najbardziej skalowalną i elastyczną** metodą [2,5,36].

Mimo że tradycyjne strzelnice projekcyjne są ekonomiczne i mobilne [40], a LMTS wspiera podstawy strzeleckie, to VR jest jedyną technologią, która w pełni integruje zaawansowane modelowanie balistyczne z intensywnym treningiem decyzyjnym i psychofizjologicznym, co czyni ją **niezbędną i najskuteczniejszą** w kontekście przygotowania funkcjonariuszy i żołnierzy do współczesnych wyzwań operacyjnych [5,20,5, 52]. Jednym z wartościowych i przyszłościowych jest system DroneHunting.EU w technologii wirtualnej rzeczywistości.

Bibliografia

1. Agha, Riaz A., and Alexander J. Fowler. "The Role and Validity of Surgical Simulation." *International Surgery* 2 (2015).
2. Andersen, J. P., P. M. Di Nota, B. Beston, E. C. Boychuk, H. Gustafsberg, S. Poplawski, *et al.* "Reducing lethal force errors by modulating police physiology." *J. Occup. Environ. Med.* 60 (2018): 867–874.
3. Biggs, A. T., J. R. Brockmole, and J. K. Witt. "Armed and attentive: holding a weapon can bias attentional priorities in scene viewing." *Atten. Percept. Psychophys.* 75 (2013): 1715–1724.
4. Biggs, A. T., J. A. Hamilton, A. G. Thompson, and R. Markwald. "Talk is cheap: Self-reported versus actual marksmanship proficiency among military and community samples." *Am. J. Psychol.* 137, no. 1 (2024): 1–17.
5. Bhagat, Kaushal Kumar, Wei-Kai Liou, and Chun-Yen Chang. "A cost-effective interactive 3D virtual reality system applied to military live firing training." *Virtual Reality* 20, no. 2 (2016): 127–140.
6. Binsch, Olaf, Nanco Oudejans, Milan N. A. Van Der Kuil, Annemarie Landman, Math M. J. Smeets, Mathie P. G. Leers, and Annika S. Smit. "The Effect of Virtual Reality Simulation on Police Officers' Performance and Recovery from a Real-Life Surveillance Task." *Multimedia Tools and Applications* 82, no. 11 (2023): 17471–17492.
7. Buga, Alex, Xavier El-Shazly, Christopher D. Crabtree, Justen T. Stoner, Lucas Arce, Drew D. Decker, Bradley T. Robinson, Madison L. Kackley, Teryn N. Sapper, John Paul V. Anders, William J. Kraemer, and Jeff S. Volek. "Age and weekly physical activity are correlated with ballistic VR decision making and reaction time shooting performance at rest." (2025).
8. Buga, A., *et al.* "The VirTra V-100 is a test-retest reliable shooting simulator for measuring accuracy/precision, decision-making, and reaction time in civilians, police/SWAT, and military personnel." *J. Strength Cond. Res.* 38, no. 10 (2024): 1714–1723.
9. Caserman, Polona, Philip Schmidt, Thorsten Göbel, Jonas Zinnäcker, André Kecke, and Stefan Göbel. "Impact of Full-Body Avatars in Immersive Multiplayer Virtual Reality Training for Police Forces." *IEEE Transactions on Games* 14, no. 4 (2022): 706–714.

10. Caserman, Polona, Philipp Niklas Müller, Thorsten Göbel, Pascal Tonecker, Savas Yildirim, André Kecke, Dennis Purdack, and Stefan Göbel. "Virtual Reality Simulator for Police Training with AI-Supported Cover Detection." In *Serious Games*, edited by Mads Haahr, Alberto Rojas-Salazar, and Stefan Göbel, 181–193. Vol. 14309. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
11. Cole, Karie R., and Richard K. Shields. "Age and Cognitive Stress Influences Motor Skill Acquisition, Consolidation, and Dual-Task Effect in Humans." *J Mot Behav.* 51, no. 6 (2019): 622–639.
12. de Armas, C., R. Tori, and A. V. Netto. "Use of virtual reality simulators for training programs in the areas of security and defense: A systematic review." *Multimed. Tools Appl.* 79 (2020): 3495–3515.
13. De Vries, Peter W., Bas Böing, Els Mulder, and Jean-Louis Van Gelder. "Sugarcoating a Bitter Pill - VR Against Police Ethnic Profiling." In *Persuasive Technology*, edited by Alexander Meschtscherjakov, Cees Midden, and Jaap Ham, 22–35. Vol. 13832. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
14. Garcia, E. T., S. G. Ware, L. J. Baker, Bartak R, and Brawner K. "Measuring Presence and Performance in a Virtual Reality Police Use of Force Training Simulation Prototype." *32nd International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS 2019* (2019): 276–281.
15. García Torres, José Antonio, Daniel Guzmán Pérez, Jhon Fredy Rincón Morantes, Daniel Felipe Molina Martínez, Cristian Camilo García Rodríguez, and Jhonnatan Eduardo Zamudio Palacios. "Image Processing for Laser Impact Detection in Shooting Simulators." *TecnoLógicas* 28, no. 62 (2025).
16. Gamito, Pedro, Jorge Oliveira, Jorge Silva, Joana Rosa, Maria L.R.Mendes, Ricardo Dias, Fábio Dias, Shivani A. Mansuklal, Joana Cartaxo, Hélder António, and Ágata Salvador. "Stress Inoculation in Police Officers Using Virtual Reality: A Controlled Study." *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 27, no. 4 (2024): 253–260.
17. Gaire, U. S. "Application of artificial intelligence in the military: An overview." *Unity Journal* 4, no. 1 (2023): 161–174.
18. Guo, Jia-Hui, Xiao-Na Zhou, Hu-Ye Zhou, Chen-Wei Huang, Yi-Lin Wu, Hong Zheng, Yun-Zi Liu, and Chun-Lei Jiang. "Enhancing shooting performance and cognitive engagement in virtual reality environments through brief meditation training." (2025).

19. Harris, D. J., K. J. Hardcastle, M. R. Wilson, and S. J. Vine. "Assessing the Learning and Transfer of Gaze Behaviours in Immersive Virtual Reality." *Virtual Reality* 25, no. 4 (2021): 961–973.
20. Harris, D. J., T. Arthur, J. Kearse, M. Olonilua, E. K. Hassan, T. C. De Burgh, M. R. Wilson, and S. J. Vine. "Exploring the role of virtual reality in military decision training." *Frontiers in Virtual Reality* 4 (2023).
21. Hussen, Noha, Rahma Mohamed, Islam Hany Hassan, Yousef Hossam, Mohamed Ashraf, and Maged Sadek. "A Review of Real-time Military Training Simulator Based on Improving War Scenario Using AI Tools." *Advanced Sciences and Technology Journal* 2, no. 2 (2025): 1020.
22. Kent, Julie A., and Charles E. Hughes. "Law Enforcement Training Using Simulation for Locally Customized Encounters." *Frontiers in Virtual Reality* 3 (2022): 960146.
23. Kleygrewe, Lisanne, R. I. Vana Hutter, Matthijs Koedijk, and Raoul R. D. Oudejans. "Virtual Reality Training for Police Officers: A Comparison of Training Responses in VR and Real-Life Training." *Police Practice and Research* 25, no. 1 (2024): 18–37.
24. Lavoie, Jennifer, Natalie Álvarez, Victoria Baker, and Jacqueline Kohl. "Training Police to De-Escalate Mental Health Crisis Situations: Comparing Virtual Reality and Live-Action Scenario-Based Approaches." *Policing: A Journal of Policy and Practice* 17 (2023): paad069.
25. Leite Jr., A. J. M., G. A. M. Gomes, N. A. Chicca Jr., A. D. D. Santos, C. A. Vidal, J. B. Cavalcante-Neto, M. Gattass, and Automacao de Engenharia; Squartz Technologies NVIDIA; Absolut Technologies; BARCO; Grande. "System Model for Shooting Training Based on Interactive Video, Three-Dimensional Computer Graphics and Laser Ray Capture." *2012 14th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2012* (2012): 254–260.
26. Liao, Yi-Cheng, Hao-Chiang Koong Lin, Po-Chun Kuo, and Kuan-Yu Lin. "The Effects of Virtual Reality System Applied to Shooting Training Course for Senior High School Students." In *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education*, 531–536 (2019).
27. Lovreglio, Ruggiero, Daphney-Chloe Ngassa, Anass Rahouti, Daniel Paes, Zhenan Feng, and Alastair Shipman. "Prototyping and Testing a Virtual Reality Counterterrorism Serious Game for Active Shooting." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 82 (2022): 103283.

28. Martaindale, M. Hunter, William L. Sandel, Aaron Duron, and Matthew J. McAllister. "Can a Virtual Reality Training Scenario Elicit Similar Stress Response as a Realistic Scenario-Based Training Scenario?" *Police Quarterly* 27, no. 1 (2024): 109–129.
29. Michela, Abele, Jacobien M. van Peer, Jan C. Brammer, Anique Nies, Marieke MJW van Rooij, Robert Oostenveld, Wendy Dorrestijn, Annika S. Smit, Karin Roelofs, and Floris Klumpers. "Deep-Breathing Biofeedback Trainability in a Virtual-Reality Action Game: A Single-Case Design Study with Police Trainers." *Frontiers in Psychology* 13 (2022): 806163.
30. Muñoz, John E., Luis Quintero, Chad L. Stephens, and Alan T. Pope. "A Psychophysiological Model of Firearms Training in Police Officers: A Virtual Reality Experiment for Biocybernetic Adaptation." *Frontiers in Psychology* 11 (2020): 683.
31. Murtinger, Markus, Jakob C. Uhl, Quynh Nguyen, and Georg Regal. "Tangible Tactical Belt: Haptic Realism for Virtual Reality Police Training." In *2023 IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRINE)*, 599–604 (2023).
32. Nawrat, Aleksander, Karol Jędrasiak, Artur Ryt, and Dawid Sobel. "Multimedia Firearms Training System." *International Journal of Computer and Information Engineering* 10, no. 11 (2016).
33. Nguyen, Q., E. Jaspaert, M. Murtinger, H. Schrom-Feiertag, S. Egger-Lampl, M. Tscheligi, Ardito C, Lanzilotti R, Malizia A, Malizia A, Petrie H, Piccinno A, Desolda G, and Inkpen K. "Stress Out: Translating Real-World Stressors into Audio-Visual Stress Cues in VR for Police Training." *18th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT 2021* 12933 (2021): 551–561.
34. Olma, Joshua, Christof Sutter, and Sven Sülzenbrück. "Blended police firearms training improves performance in shoot/don't shoot scenarios: a systematic replication with police cadets." *Front. Psychol.* 15 (2024): 1495812.
35. Olma, Joshua, Christof Sutter, and Sven Sülzenbrück. "When failure is not an option: a police firearms training concept for improving decision-making in shoot/don't shoot scenarios." *Front. Psychol.* 15 (2024): 1335892.
36. Podoletz, Lena, Mark McGill, David McIlhatton, Jill Marshall, Niamh Healy, and Leonie Maria Tanczer. "A Critical Review of Virtual and Extended Reality Immersive Police Training: Application Areas, Benefits & Vulnerabilities." In *30th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '24)*, October 09–11, 2024, Trier, Germany. New York, NY, USA: ACM, 2024.

37. Pope, A. T., C. L. Stephens, and K. Gilleade. "Biocybernetic adaptation as biofeedback training method." In *Advances in Physiological Computing*, edited by K. Gilleade, 91–115. Berlin: Springer, 2014.
38. Paululat, Meret. "The Impact of Racist Stereotypes on Dutch Police Officers' Behaviour in Stop-and-Search Scenarios: A Randomized Study with Deepfake Technology in Virtual Reality." B.S. Thesis, University of Twente, 2023.
39. Smith, M. D., and J. D. Hagman. "Predicting Rifle and Pistol Marksmanship Performance with the Laser Marksmanship Training System (Tech. Rep 1106)." Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 2000.
40. Smith, M.D., and J. D. Hagman. "Predicting Rifle and Pistol Marksmanship Qualification (Research Report 1804)." Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 2003.
41. Sudiarno, Adithya, Ratna Sari Dewi, Retno Widyaningrum, Reza Aulia Akbar, Yupit Sudianto, Wahyu Andy Prastyabudi, and Ahmadi. "Analysis of Human Performance and Potential Application of Virtual Reality (VR) Shooting Games as a Shooting Training Simulator for Military Personnel." *International Journal of Technology* 15, no. 1 (2024): 87–98.
42. Tawa, John, Yuanguo Lang, and Audrey St John. "Measuring Visual Attention with 360 Degree Video Stimuli in Virtually Immersive Environments: A Case Study of Police Officers' Decisions to Shoot." Available at SSRN 4063506 (2022).
43. Tawa, John, Yuanguo Lang, and M. M. Jernigan. "Cognitive and affective precursors to decisions to use lethal force against black suspects: a virtual reality application." *Race Just.* (2022).
44. Temby, P., C. Ryder, A. Vozzo, and G. Galanis. "Sharp Shooting in Fuzzy Fields: Effects of Image Clarity in Virtual Environments." *Proceedings of the Simulation, Technology and Training (SimTecT) Conference*, Sydney, Australia, 2005.
45. Uhl, Jacob C., Huu Quynh Huong Nguyen, Yannick Hill, Markus Murtinger, and Manfred Tscheligi. "xHits: An Automatic Team Performance Metric for VR Police Training." *2023 IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering. Proceedings* (2023).
46. Uhl, Jakob Carl, Georg Regal, Michael Gafert, Markus Murtinger, and Manfred Tscheligi. "Stress Embodied: Developing Multi-sensory Experiences for VR Police Training." In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2023*, edited by José

- Abdelnour Nocera, Marta Kristín Lárusdóttir, Helen Petrie, Antonio Piccinno, and Marco Winckler, 573–583. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
47. Vickers, J. N., and W. Lewinski. "Performing under pressure: gaze control, decision making and shooting performance of elite and rookie police officers." *Hum. Mov. Sci.* 31 (2012): 101–117.
48. Voigt, Laura, and Marie Otilie Frenkel. "How Officers Perform and Grow under Stress: Police Training in Virtual Reality." In *Police Conflict Management, Volume II*, edited by Mario S. Staller, Swen Koerner, and Benni Zaiser, 187–211. Cham: Springer International Publishing, 2023.
49. Wang, W., H. Liu, W. Lin, Y. Chen, and J.-A. Yang. "Investigation on Works and Military Applications of Artificial Intelligence." *IEEE Access* 8 (2020): 131614–131625.
50. Zaremba, Arnold, Jakub Tytuła, and Szymon Nitkiewicz. "The Analysis of the Possibilities of Using a Virtual Reality System in Fitness Training." *Technical Sciences* 26 (2023): 97–110.
51. Zechner, Olivia, Lisanne Kleygrewe, Emma Jaspaert, Helmut Schrom-Feiertag, RI Vana Hutter, and Manfred Tscheligi. "Enhancing Operational Police Training in High Stress Situations with Virtual Reality: Experiences, Tools and Guidelines." *Multimodal Technologies and Interaction* 7, no. 2 (2023): 14.
52. Zhang, Mingbao, Xiang Li, Zezheng Yu, Zhuo Chen, Yan Sun, and Yidi Li. "Virtual Range Training Based on Virtual Reality." In *4th International Conference on Contemporary Education, Social Sciences and Humanities (ICCESSH 2019)*, 2019.
53. Zhang, M., X. Li, Z. Yu, Z. Chen, Y. Sun, and Y. Li. "Virtual range training based on virtual reality." In *Proceedings of the 4th International Conference on Contemporary Education, Social Sciences and Humanities (ICCESSH 2019)*, 2019.
54. Lee, Byounghwak, Taek Yong Hwang, Seungju Hyun, and Hyunyup Lee. "Improvement of K-2 rifle's live-fire accuracy using virtual reality shooting training system." *Virtual Reality* 29 (2025): 23.