



Gdański Uniwersytet Medyczny
Wydział Nauk o Zdrowiu
z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej

Rozprawa doktorska na stopień doktora w dziedzinie nauk medycznych
i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauk o zdrowiu

**Wielorazowe opaski uciskowe do pobierania krwi jako fomity
transmisji bakterii w środowisku szpitalnym**

*Reusable tourniquets for blood collection as fomites for bacterial transmission
in the hospital environment*

lic. piel. Julia Szymczyk
Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii
Uniwersyteckie Centrum Kliniczne

Promotor: Prof. dr hab. Wioletta Mędrzycka-Dąbrowska
Zakład Pielęgniarstwa Anestezjologicznego i Intensywnej Opieki
Gdański Uniwersytet Medyczny

Drugi promotor: Prof. dr hab. Katarzyna Zorena
Zakład Immunobiologii i Mikrobiologii Środowiska
Gdański Uniwersytet Medyczny

Gdańsk 2025

Pracę dedykuję pamięci mojej babci Stanisławy.

**Pragnę z serca podziękować wszystkim, bez których
niniejsza praca nie mogłaby powstać.**

*Mojej promotor Pani **prof. Wiolecie Mędrzyckiej-Dąbrowskiej**,
za cierpliwość, inspirację, wiarę w moje możliwości i wprowadzenie
w świat badań naukowych.*

*Mojej promotor Pani **prof. Katarzynie Zorenie**, za wszelką pomoc,
otwartość i okazane wsparcie.*

*Naukowczyniom z Zakładu Immunobiologii i Mikrobiologii
Środowiska, Pani **dr inż. Marcie Jaskulak**
i Pani **dr Monice Kurpas** za motywację, pomoc, owocną
współpracę oraz za towarzyszenie w mojej drodze naukowej.*

*Pani **dr Krystynie Paszko** za zaangażowanie i otwartość.*

*Mojej mentorce Pani **prof. Aleksandrze Cislak-Wójcik** za cenne
wskazówki oraz nauczanie work-life balance.*

***Rodzicom**, za stworzenie możliwości do rozwoju.*

***Bliskim**, za nieocenione wsparcie, wyrozumiałość, a w szczególności
za to, że nigdy we mnie nie zawątpili.*

**Projekt badawczy realizowany był dzięki wsparciu
Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego,
uzyskanemu w ramach programu grantowego
„Wsparcie Studenckich Kół Naukowych” (nr projektu: 01-64024).**

Spis treści

1. WYKAZ PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ	6
2. WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW	7
3. STRESZCZENIE	8
4. ABSTRACT	10
5. WPROWADZENIE	12
5.1. Kontaminacja staz wielorazowych	14
5.1.1. Różnorodność patogenów na powierzchni staz	15
5.1.2. Wyzwania związane z tworzeniem biofilmów	15
5.1.3. Nieadekwatne procedury dezynfekcji jako źródło ryzyka	16
5.2. Ekonomiczne aspekty dekontaminacji sprzętu medycznego	17
5.3. Znaczenie kliniczne i potrzeba zmian w stosowaniu wielorazowych staz do pobierania krwi	18
6. CELE BADAŃ	19
7. OMÓWIENIE OPUBLIKOWANYCH WYNIKÓW BADAŃ WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ	20
Publikacja 1	20
Publikacja 2	21
Publikacja 3	23
Publikacja 4	34
8. PODSUMOWANIE	37
9. PIŚMIENNICTWO	39
PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ	44
OŚWIADCZENIA WSPÓŁAUTORÓW	85

1. WYKAZ PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W skład niniejszej rozprawy doktorskiej wchodzi następujące publikacje:

1. Szymczyk J, Månsson M, Mędrzycka-Dąbrowska W.
Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms- a systematic review
Front Public Health. 2023; doi:10.3389/fpubh.2023.1258692.
IF 3,0 | MNiSW 100| Q2
2. Szymczyk J, Mędrzycka-Dąbrowska W.
Wielorazowe stazy: wyzwania, bezpieczeństwo i potrzeba zmian w praktyce klinicznej
Pielęgniarstwo w Anestezjologii i Intensywnej Opiece 2024;
doi:dx.doi.org/10.15374/PwAiIO2024021
IF 0 | MNiSW 5
3. Szymczyk J, Kurpas M, Kasiński B, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W.
Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis
Microorganisms. 2025; doi: 10.3390/microorganisms13010152
IF 4,2| MNiSW 40| Q2
4. Szymczyk J, Jaskulak M, Kurpas M, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W.
Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments
Applied Sciences. 2025; doi: 10.3390/app15137545
IF 2,5 | MNiSW 100| Q2

Łączna wartość wskaźnika oddziaływania (IF): **9,7**

Łączna punktacja MNiSW: **245**

2. WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW

- **HAI** – *Healthcare-Associated Infections* – zakażenia związane z opieką zdrowotną
- **ECRI** – *Emergency Care Research Institute* – niezależna organizacja zajmująca się poprawą bezpieczeństwa pacjentów i jakości opieki zdrowotnej
- **MRSA** – *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* – gronkowiec złocisty oporny na metycylinę
- **SHEA** – *Society for Healthcare Epidemiology of America* – Amerykańskie Towarzystwo Epidemiologii Opieki Zdrowotnej
- **HBV** – *Hepatitis B Virus* – wirus zapalenia wątroby typu B
- **HCV** – *Hepatitis C Virus* – wirus zapalenia wątroby typu C
- **HIV** – *Human Immunodeficiency Virus* – wirus ludzkiego niedoboru odporności
- **CFU** – *colony-forming units* – jednostki tworzące kolonie bakterii
- **SD** – *standard deviation* – odchylenie standardowe
- **NGS** – *Next-Generation Sequencing* – sekwencjonowanie nowej generacji, technika analizy genomu i mikrobiomu
- **PRISMA** – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – zalecenia do raportowania przeglądów systematycznych)
- **VRE** – *Vancomycin-Resistant Enterococcus* – enterokoki oporne na antybiotyki wankomycynę
- **DNA** – *Deoxyribonucleic Acid* – kwas deoksyrybonukleinowy
- **rRNA** – *Ribosomal Ribonucleic Acid* – rybosomalny kwas rybonukleinowy

3. STRESZCZENIE

Wielorazowe opaski uciskowe do pobierania krwi jako fomity transmisji bakterii w środowisku szpitalnym

Zakażenia związane z opieką zdrowotną (HAIs) stanowią istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa pacjentów oraz jakości świadczeń medycznych. Prowadzą do pogorszenia wyników leczenia, wydłużenia hospitalizacji i generują znaczące koszty dla systemów ochrony zdrowia. W Polsce wśród najczęściej izolowanych czynników etiologicznych HAIs dominują bakterie z rodzaju *Klebsiella* (16%) oraz *Staphylococcus aureus* (15%). Jednym z potencjalnych wektorów transmisji drobnoustrojów w środowisku klinicznym są stazy — elastyczne opaski zakładane na kończynę górną pacjenta w celu czasowego zahamowania przepływu krwi, powszechnie stosowane podczas pobierania krwi oraz wprowadzania kaniuli dożylniej. Wielokrotne używanie tych samych staz u wielu pacjentów bez odpowiedniej dekontaminacji sprzyja kolonizacji powierzchni przez patogeny i zwiększa ryzyko zakażeń krzyżowych.

Praca doktorska obejmuje cykl publikacji, w tym badania przeglądowe oraz oryginalne, ukierunkowane na ocenę mikrobiologicznego ryzyka związanego z użytkowaniem wielorazowych staz uciskowych w warunkach klinicznych. Ocenie poddano zarówno dostępne zalecenia dotyczące dekontaminacji, jak i rzeczywisty poziom skażenia mikrobiologicznego oraz skład gatunkowy kolonizujących mikroorganizmów.

W części przeglądowej przeprowadzono systematyczną analizę literatury dotyczącej skażenia staz drobnoustrojami wielolekoopornymi. Wykazano jednoznacznie istnienie istotnego zagrożenia epidemiologicznego wynikającego z ich niewłaściwego użytkowania. Stwierdzono również znaczące rozbieżności i braki w zaleceniach producentów dotyczących metod dekontaminacji — brakowało szczegółowych informacji dotyczących parametrów procesu, co może sprzyjać utrwalaniu kolonizacji.

Pierwsza część badań oryginalnych obejmowała analizę instrukcji producentów i dystrybutorów. Wykazano, że większość staz wielorazowych nie zawierała

precyzyjnych zaleceń dotyczących procedur czyszczenia i dezynfekcji. Informacje o autoklawowaniu podano jedynie dla dwóch produktów i nie obejmowały one szczegółów dotyczących czasu i częstotliwości procesu. Stazy jednorazowe były wyraźnie oznaczone jako „single-use” i nie wymagały dezynfekcji, lecz ich stosowanie wiąże się z obciążeniem środowiska.

Druga część badań dotyczyła oceny poziomu kontaminacji staz w środowisku klinicznym. Stwierdzono istotnie wyższy poziom skażenia bakteriynego staz stosowanych w obszarach o dużym natężeniu świadczeń medycznych – oddziale ratunkowym, w porównaniu z jednostkami o bardziej kontrolowanym środowisku – bloku operacyjnym. Różnice istotne statystycznie odnotowano również pomiędzy 14. a 28. dniem użytkowania. U 44% badanych staz zaobserwowano obecność widocznych śladów krwi. Najczęściej izolowanymi drobnoustrojami były bakterie z rodziny Enterobacteriaceae oraz *Pseudomonas* spp.

W ostatniej części badań zastosowano analizy metagenomiczne. Zidentyfikowano 131 gatunków bakterii, w tym klinicznie istotne patogeny, takie jak *Acinetobacter* (83%), *Enterococcus* (75%), *Pseudomonas* (75%) oraz *Klebsiella* (42%). Wysoka częstość występowania drobnoustrojów wielolekoopornych potwierdza realne zagrożenie epidemiologiczne, szczególnie w środowisku szpitalnym.

Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że wielorazowe stazy uciskowe stanowią istotny rezerwuuar drobnoustrojów i mogą być wektorem zakażeń krzyżowych. Rekomenduje się zastąpienie ich stazami jednorazowymi oraz wdrożenie rygorystycznych procedur dekontaminacyjnych w sytuacjach, w których ich użycie jest konieczne. Działania te powinny być wsparte edukacją personelu medycznego oraz systematycznym monitoringiem mikrobiologicznym, co może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa pacjentów i redukcji ryzyka zakażeń związanych z opieką zdrowotną.

Słowa kluczowe: zakażenia szpitalne, stazy wielorazowe, dekontaminacja, mikrobiologia, bezpieczeństwo pacjentów

4. ABSTRACT

Reusable tourniquets for blood collection as fomites for bacterial transmission in the hospital environment

Healthcare-associated infections (HAIs) represent a significant threat to patient safety and healthcare quality, leading to poorer clinical outcomes, prolonged hospital stays, and increased healthcare costs. In Poland, the most frequently isolated etiological agents of HAIs include *Klebsiella* spp. (approximately 16%) and *Staphylococcus aureus* (approximately 15%). One of the potential vectors for microbial transmission in clinical settings are tourniquets—elastic bands applied to the upper limb to temporarily restrict blood flow, commonly used during venipuncture and intravenous cannula insertion. The repeated use of the same reusable tourniquets on multiple patients without appropriate decontamination facilitates microbial colonization and increases the risk of cross-transmission of pathogens.

This doctoral thesis is based on a series of publications, including both a systematic review and original research articles, focusing on the microbiological risks associated with the use of reusable phlebotomy tourniquets in clinical practice. The studies assessed both manufacturer-provided decontamination recommendations and actual microbial contamination levels, as well as the taxonomic composition of colonizing microorganisms.

The systematic review revealed consistent evidence that reusable tourniquets are potential reservoirs for multidrug-resistant organisms, highlighting their epidemiological significance. The review also identified major inconsistencies and gaps in manufacturer instructions regarding decontamination procedures, including insufficient detail on process parameters.

The first original study analyzed manufacturer guidelines and found that most reusable tourniquets lacked clear, standardized instructions on cleaning and disinfection procedures. Only a small number of products contained autoclaving recommendations, and these lacked specifications on exposure time or frequency. Single-use tourniquets

were clearly labeled as disposable and required no decontamination; however, their use is associated with increased plastic waste generation.

The second original study assessed bacterial contamination in a clinical setting. Tourniquets used in high patient turnover units showed significantly higher bacterial loads compared to those used in more controlled environments. Statistically significant differences were also observed between 14 and 28 days of use. Visible blood stains were present on 44% of the examined tourniquets. The most frequently isolated bacteria included Enterobacteriaceae and *Pseudomonas* spp.

The final study employed metagenomic analysis, identifying 131 bacterial species, including clinically relevant pathogens such as *Acinetobacter* (83%), *Enterococcus* (75%), *Pseudomonas* (75%), and *Klebsiella* (42%). The high prevalence of multidrug-resistant microorganisms underscores the considerable infection risk posed by reusable tourniquets in healthcare environments.

The findings clearly indicate that reusable tourniquets constitute a significant reservoir of clinically relevant microorganisms and present a tangible risk of cross-infection. It is strongly recommended that reusable tourniquets be replaced with single-use alternatives, accompanied by strict decontamination procedures where their use remains necessary. These measures should be supported by comprehensive staff education and systematic microbiological surveillance to enhance patient safety and reduce HAI risk.

Keywords: healthcare-associated infections, reusable tourniquets, decontamination, microbiology, patient safety

5. WPROWADZENIE

Zakażenia związane z opieką zdrowotną (Healthcare-Associated Infections, HAIs) stanowią jedno z najpoważniejszych wyzwań współczesnej medycyny, dotykając średnio jednego na 31 hospitalizowanych pacjentów. W Europie wskaźnik ten wynosi około 7,6% wszystkich pacjentów, a koszty ekonomiczne HAIs szacuje się na 28-33 miliardy dolarów rocznie tylko w Stanach Zjednoczonych. W kontekście polskim problem ten nabiera szczególnego znaczenia, gdzie bakterie z rodzaju *Klebsiella* odpowiadają za około 16% wszystkich zgłaszanych zakażeń związanych z opieką zdrowotną (HAIs), co czyni je jedną z głównych przyczyn zakażeń szpitalnych w kraju, obok *Staphylococcus aureus*, który stanowi około 15% przypadków zakażeń szpitalnych [1-3].

Jednym z kluczowych, lecz często pomijanych czynników pośredniczących w transmisji patogenów w środowisku klinicznym są fomity – przedmioty nieożywione, które mogą służyć jako nośniki przenoszące mikroorganizmy chorobotwórcze między pacjentami [4]. Szczególne znaczenie w tym kontekście mają wielorazowe stazy do pobierania krwi - elastyczne opaski, które są standardowo wykorzystywane przez personel medyczny do uwidocznienia naczyń żylnych przed uzyskaniem dostępu naczyniowego. Stazy stanowią nieodzowny element wyposażenia każdej placówki medycznej, są stosowane rutynowo przy pobieraniu krwi żyłnej, zakładaniu kaniuli obwodowych, infuzji leków oraz diagnostyce laboratoryjnej. Ich mechanizm działania opiera się na czasowym ograniczeniu odpływu żylnego przez ucisk zewnętrzny (Rycina 1), co prowadzi do wzrostu ciśnienia w żyłach i ich rozszerzenia, ułatwiając identyfikację oraz nakłucie naczynia [5].



Rycina 1. Mechanizm działania stazy

Źródło: Opracowanie własne

Znaczenie kliniczne staz wykracza daleko poza proste ułatwienie procedur medycznych. W praktyce szpitalnej personel często wykorzystuje jedną wielorazową stazę u wielu pacjentów w ciągu dnia, a jej użytkowanie może trwać od kilku tygodni do nawet kilku lat. Częstotliwość ich użycia jest szczególnie wysoka w oddziałach o intensywnym obrocie pacjentów, takich jak laboratoria, oddziały ratunkowe, poradnie ambulatoryjne czy bloki operacyjne. Wytyczne kliniczne zalecają stosowanie stazy przez okres nie dłuższy niż 60 sekund i jej usunięcie przed zakończeniem pobierania krwi, aby uniknąć hemokoncentracji i fałszywych wyników laboratoryjnych [6]. Paradoksalnie, mimo powszechności stosowania i bezpośredniego kontaktu ze skórą pacjentów, stazy do pobierania krwi są często pomijane w protokołach kontroli zakażeń. W przeciwieństwie do instrumentów chirurgicznych, które podlegają obowiązkowej sterylizacji między pacjentami, wielorazowe stazy rzadko są dekontaminowane, co prowadzi do akumulacji zanieczyszczeń biologicznych w czasie. Badania wykazują, że nawet 97% personelu medycznego ponownie używa tych samych staz bez odpowiedniego czyszczenia, głównie z powodu niewystarczających zasobów w jednostkach oraz braku świadomości zagrożeń epidemiologicznych [7]. Badania Zhang *et al.* podkreśliły, że sprzęt medyczny używany podczas zakładania obwodowych cewników naczyniowych stanowi istotny wektor

transmisji drobnoustrojów odpowiedzialnych za zakażenia dożylnie [8]. Natomiast praca Choudhury *et al.* wykazała znaczące podobieństwo bakterii obecnych na powierzchniach cewników dożylnych i skórze pacjentów, co wskazuje na potencjalną drogę przenoszenia zakażeń poprzez sprzęt mający kontakt ze skórą [9]. Chociaż oba badania nie analizowały bezpośrednio wielorazowych staz do pobierania krwi, ich wyniki uzasadniają przypuszczenie, że stazy jako sprzęt wielokrotnego użytku mający bezpośredni kontakt ze skórą, mogą stanowić nośnik i przyczyniać się do zakażeń związanych z opieką zdrowotną (Rycina 2).



Rycina 2. Schemat możliwej transmisji mikroorganizmów [10]

5.1. Kontaminacja staz wielorazowych

Badania naukowe jednoznacznie wskazują na wysokie wskaźniki kontaminacji staz wielorazowych patogenami odpowiedzialnymi za HAIs [7, 10, 11,12]. Abeywickrama *et al.* wykazali, że MRSA (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) był wykrywany na 26% badanych staz, przy czym jednokrotnie używane stazy plastikowe wykazywały znacznie niższą kontaminację MRSA w porównaniu do staz wielokrotnego użytku [11]. Podobne wyniki uzyskali Natarajan *et al.*, którzy w swoich badaniach zidentyfikowali ogólny wskaźnik kolonizacji bakteryjnej na poziomie 80%, przy czym najczęściej izolowanymi patogenami były gronkowce koagulazoujemne (22,5%), *Micrococcus* (15%), *Staphylococcus aureus* (12,5%) oraz *Acinetobacter* spp. (10%) [12].

5.1.1. Różnorodność patogenów na powierzchni staz

Spektrum mikroorganizmów wykrywanych na wielorazowych stazach jest szerokie i obejmuje zarówno bakterie Gram-dodatnie, jak i Gram-ujemne. Pinto *et al.* przebadali 100 wielorazowych staz i wykazali, że 54% było skażonych *Bacillus* spp., 26% pałeczkami z rodziny Enterobacteriaceae, 18% *Pseudomonas* spp., a 14% MRSA; dodatkowo w 19% wykryto oporne na wankomycynę *Enterococcus* spp., co potwierdza obecność patogenów wieloopornych na antybiotyki [7]. Stosowanie staz wielorazowych wiąże się również z istotnymi konsekwencjami ekologicznymi i ekonomicznymi. Badanie opublikowane w Nursing Times wykazało, że przejście na stazy jednorazowe może zmniejszyć ryzyko zakażeń, ale jednocześnie generuje znaczną ilość odpadów z tworzyw sztucznych, co obciąża środowisko. Z drugiej strony, koszty gospodarowania odpadami i leczenia infekcji powstałych w konsekwencji niewłaściwej dekontaminacji wielorazowego sprzętu mogą przewyższać oszczędności wynikające z ponownego użycia. W ujęciu makroekonomicznym inwestycja w stazy jednorazowe lub bardziej trwałe, łatwe do czyszczenia alternatywy może przynieść oszczędności dla systemu ochrony zdrowia, zmniejszając koszty zarządzania zakażeniami i utylizacją odpadów [13].

5.1.2. Wyzwania związane z tworzeniem biofilmów

Szczególnie niepokojącym aspektem kontaminacji staz wielorazowych jest zdolność patogenów do tworzenia biofilmów na powierzchni urządzeń medycznych. Badania wykazują, że bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne, w tym *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae* oraz *Pseudomonas aeruginosa*, mogą tworzyć biofilmy na urządzeniach medycznych. Bakterie w formie biofilmu wykazują 500-5000 krotnie większą oporność na antybiotyki w porównaniu do form planktonowych, a według National Institutes of Health, biofilmy mogą być odpowiedzialne za nawet 80% ludzkich zakażeń mikrobiologicznych [14,15].

5.1.3. Nieadekwatne procedury dezynfekcji jako źródło ryzyka

Światowa Organizacja Zdrowia w najnowszych wytycznych dotyczących zapobiegania zakażeniom związanym z dostępem naczyniowym podkreśla konieczność dezynfekcji stazy przed użyciem, jednak w praktyce może to być niewykonalne, co sprawia, że alternatywą staje się stosowanie staz jednorazowych [16].

Mimo ich szerokiego wykorzystania, problemem pozostaje brak jednoznacznych, standaryzowanych wytycznych dotyczących czyszczenia, dezynfekcji oraz sterylizacji tych narzędzi. Analiza informacji udostępnianych przez producentów wskazuje, że nie istnieją sprawdzone, precyzyjne procedury postępowania ze stazami wielorazowymi, a dostępne zalecenia są niejednoznaczne i oparte głównie na domysłach. Brak tych wytycznych stanowi poważne wyzwanie dla bezpieczeństwa pacjentów, gdyż niewłaściwie dekontaminowane stazy mogą być źródłem transmisji patogenów w placówkach ochrony zdrowia (Rycina 3).



Rycina 3. Schemat postępowania ze stazą jednorazową oraz stazą wielorazową

Źródło: Opracowanie własne

Raport ECRI z 2024 roku identyfikuje "nieadekwatne lub uciążliwe instrukcje czyszczenia urządzeń" jako drugie najważniejsze zagrożenie technologii medycznej, podkreślając wagę tego problemu w kontekście bezpieczeństwa pacjentów [17]. Society for Healthcare Epidemiology of America (SHEA) w swoich najnowszych wytycznych podkreśla, że mimo ciągłych wysiłków, ryzyko związane z przetwarzaniem urządzeń medycznych utrzymuje się, szczególnie gdy procedury sterylizacji i wysokopoziomowej dezynfekcji nie są ściśle przestrzegane lub są utrudnione przez niejednoznaczne instrukcje producentów [18]. Co więcej, aktualnie w warunkach szpitalnych stazy znajdują się w różnych miejscach, takich jak krany, podajniki środków do dezynfekcji czy inne powierzchnie, które nie są odpowiednie do przechowywania i mogą sprzyjać ich ponownemu skażeniu, co dodatkowo zwiększa ryzyko przenoszenia patogenów (Rycina 4).



Rycina 4. Niewłaściwe przechowywanie wielorazowych staz w warunkach szpitalnych

Źródło: Opracowanie własne

5.2. Ekonomiczne aspekty dekontaminacji sprzętu medycznego

Globalny rynek czyszczenia urządzeń medycznych, szacowany na 2,735.2 miliarda USD w 2024 roku, odzwierciedla rosnącą świadomość znaczenia odpowiednich procedur dezynfekcji. Shuman i Chenoweth w swojej pracy przeglądowej podkreślają, że ponowne

użycie zarówno urządzeń jednokrotnego, jak i wielokrotnego użytku może prowadzić do transmisji zakażeń, gdy nie występuje odpowiednia sterylizacja lub przetwarzanie, szczególnie w warunkach ograniczonych zasobów [19].

5.3. Znaczenie kliniczne i potrzeba zmian w stosowaniu wielorazowych staz do pobierania krwi

Pomimo powszechności stosowania wielorazowych staz do pobierania krwi w praktyce klinicznej oraz rosnącej liczby dowodów na ich rolę w transmisji patogenów, wciąż istnieją znaczące luki w wiedzy dotyczące pełnego spektrum mikrobiologicznego ryzyka związanego z tymi urządzeniami. Dotychczasowe badania bazowały głównie na tradycyjnych metodach hodowlanych, które nie pozwalają na pełną charakterystykę obecności bakterii na powierzchni staz, a także brakuje systematycznych analiz porównawczych między różnymi jednostkami klinicznymi oraz badania wpływu czasu użytkowania i warunków środowiskowych na akumulację patogenów.

Znaczenie kliniczne tego problemu jest nie do przecenienia, gdyż procedury uzyskiwania dostępu naczyniowego należą do najczęściej wykonywanych inwazyjnych zabiegów medycznych, a używane stazy są wykorzystywane u pacjentów o różnym stopniu ryzyka zakażenia, w tym u osób z obniżoną odpornością [20]. Kontaminacja wielorazowych staz stanowi realne zagrożenie rozwojem zakażeń związanych z kaniulą obwodową oraz innymi zakażeniami związanymi z opieką zdrowotną, zwłaszcza w jednostkach, w których leczeni są pacjenci z obniżoną odpornością, po zabiegach chirurgicznych, wymagających stosowania dostępów naczyniowych, a także w miejscach długotrwałej hospitalizacji czy intensywnej antybiotykoterapii, takich jak oddziały intensywnej terapii, onkologiczne i transplantologiczne [21,22].

Zaprezentowane wyniki badań przedstawione w rozprawie doktorskiej mają na celu wypełnienie stwierdzonych luk poprzez analizę mikrobiologicznego ryzyka związanego z użytkowaniem wielorazowych staz do pobierania krwi w środowisku szpitalnym.

6. CELE BADAŃ

Cele badań zostały sformułowane w dwóch poziomach: głównym (zasadniczym) oraz szczegółowych (dodatkowych).

Cel główny:

1. Ocena mikrobiologicznego ryzyka związanego z użytkowaniem wielorazowych opasek uciskowych do pobierania krwi w placówkach szpitalnych.

Cele dodatkowe:

1. Porównanie stopnia biologicznego zanieczyszczenia staz wykorzystywanych na oddziale ratunkowym i na bloku operacyjnym w trzech punktach czasowych: po nieznanym okresie eksploatacji, po 14 oraz po 28 dniach użytkowania.
2. Identyfikacja i ilościowa charakterystyka bakterii obecnych na powierzchni staz przy użyciu metod hodowlanych (posiewy na podłoża Columbia Agar z krwią, King B i MacConkey).
3. Szczegółowa analiza potencjalnych bakterii na stazach za pomocą sekwencjonowania metagenomicznego 16S rRNA (regiony V3–V4), w celu wykrycia oraz określenia gatunków bakterii patogennych.
4. Ocena częstości występowania patogenów związanych z zakażeniami związanymi z opieką zdrowotną (HAIs).
5. Porównanie różnorodności gatunkowej z różnych jednostek klinicznych oraz ocena bakterii na powierzchni staz.

Niniejsze cele realizowano w ramach opublikowanego cyklu prac.

7. OMÓWIENIE OPUBLIKOWANYCH WYNIKÓW BADAŃ WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pracę doktorską stanowi cykl czterech artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie ze współczynnikiem IF (jedna praca przeglądowa oraz trzy prace oryginalne).

Punktem wyjścia dla podjętych badań był artykuł o charakterze przeglądowym: Szymczyk J, Månsson M, Mędrzycka-Dąbrowska W. *Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms- a systematic review* Front Public Health. 2023. doi:10.3389/fpubh.2023.1258692.

Wielorazowe stazy uciskowe do pobierania krwi są szeroko stosowane w placówkach medycznych na całym świecie [6]. Niemniej jednak, ich użytkowanie budzi coraz większe zastrzeżenia związane z ryzykiem przenoszenia zakażeń. Stazy te wykonane są zazwyczaj z tkaniny o porowatej strukturze, co sprzyja osadzaniu się i przetrwaniu drobnoustrojów [23]. Choć dekontaminacja staz poprzez sterylizację lub zanurzenie w środkach dezynfekcyjnych jest możliwa, metody te są często czasochłonne i trudne do wdrożenia w codziennej praktyce klinicznej. Najczęściej stosowaną metodą jest spryskiwanie staz preparatami dezynfekującymi i pozostawianie ich do wyschnięcia, jednak nie zawsze zapewnia to skuteczne usunięcie patogenów. W rezultacie wielorazowe stazy mogą stanowić źródło przenoszenia wieloopornych mikroorganizmów między pacjentami, co stanowi szczególne zagrożenie dla osób z osłabioną odpornością i /lub osób w podeszłym wieku. W związku z tym coraz częściej zaleca się stosowanie jednorazowych staz, które eliminują konieczność dezynfekcji i zmniejszają ryzyko zakażeń [24-28].

W celu dokładnego zbadania i podsumowania dostępnych danych na temat obecności drobnoustrojów na wielorazowych stazach uciskowych, przeprowadzono systematyczny przegląd literatury według wytycznych PRISMA [29]. Wyszukano artykuły w bazach PubMed, EBSCO i Scopus za pomocą predefiniowanych słów kluczowych. Spośród 291 dostępnych publikacji po ocenie jakości metodą Joanna Briggs Institute do analizy włączono 13 badań z lat 1986-2018 z różnych krajów (Wielka Brytania, USA, Kanada, Pakistan) [30].

Analiza wykazała, że mediana próbek to 77, a MRSA był najczęściej wykrywanym patogenem na 12% staz (mediana 8,5%). Średnia liczba szczepów gronkowca złocistego opornego na metycylinę (MRSA) wykrywanych na opaskach uciskowych wynosiła $14,6 \pm 45,89$ (SD; odchylenie standardowe). Występowały również inne bakterie: gronkowce koagulazoujemne, *Bacillus* spp. oraz metycylino-wrażliwe *Staphylococcus aureus* [31].

Analiza danych zaprezentowana w publikacji *Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms- a systematic review* podkreśliła konieczność monitorowania epidemiologicznego i wdrażania jasnych procedur dotyczących bezpiecznego pobierania krwi. Stanowi ona fundamentalną podstawę teoretyczną dla całej rozprawy doktorskiej, dostarczając kompleksowego przeglądu dotychczasowej wiedzy na temat ryzyka mikrobiologicznego związanego z wielorazowymi stazami [31].

Kolejna publikacja: Szymczyk J, Mędrzycka-Dąbrowska W. *Wielorazowe stazy: wyzwania, bezpieczeństwo i potrzeba zmian w praktyce klinicznej.* Pielęgniarstwo w anestezjologii i intensywnej opiece 2024. doi: [dx.doi.org/10.15374/PwAiIO2024021](https://doi.org/10.15374/PwAiIO2024021)

Wielorazowe stazy uciskowe, będące standardowym wyposażeniem podczas procedur inwazyjnych, takich jak pobieranie krwi, wymagają odpowiednich procedur czyszczenia i dezynfekcji, aby zapobiec przenoszeniu zakażeń szpitalnych. Pomimo powszechnego zastosowania staz wielorazowych, w praktyce brakuje jednolitych i szczegółowych wytycznych dotyczących optymalnych metod ich sterylizacji i dezynfekcji [9].

Wielorazowe stazy dostępne na rynku bywają oferowane bez precyzyjnych instrukcji dotyczących metody, czasu i częstotliwości sterylizacji czy dezynfekcji. Brak takiej specyfikacji zwiększa ryzyko nieprawidłowego stosowania sprzętu, co może prowadzić do realnego zagrożenia epidemiologicznego.

Dodatkowo, stosowanie staz jednorazowych, choć eliminuje problem dezynfekcji, wiąże się z generowaniem znacznej ilości odpadów, co stanowi wyzwanie w kontekście ochrony środowiska. Wobec tych wyzwań niezbędne jest wprowadzenie jednolitych procedur oraz edukacja personelu medycznego, aby zapewnić bezpieczeństwo pacjentów i zminimalizować negatywne skutki kliniczne oraz ekologiczne [13].

Celem badania była analiza informacji dotyczących procedur czyszczenia i dezynfekcji staz jednorazowych i wielorazowych dostępnych w sprzedaży.

Materiałem badawczym było zebranie poprzez analizę 11 polskich stron internetowych producentów i dystrybutorów wielorazowych i jednorazowych staz w okresie od listopada 2024 do stycznia 2025 roku. Dwie niezależne recenzentki oceniły dostępność i szczegółowość informacji dotyczących metod czyszczenia, sterylizacji, czasu dezynfekcji oraz certyfikatów jakości [32].

Wyniki wykazały, że większość wielorazowych staz (7 z 11 specyfikacji produktu) nie zawierała precyzyjnych instrukcji dezynfekcji. Zalecenia dotyczące autoklawowania (120–121 °C, 1 bar) podano jedynie dla dwóch produktów, jednak brakowało danych dotyczących czasu i częstotliwości procesów. Jedynie jeden producent (Daisygrip) podał polecany czas dezynfekcji (30 sekund z użyciem chusteczek dezynfekcyjnych). Wszystkie stazy jednorazowe były jasno oznaczone jako „jednorazowe” i nie wymagały dezynfekcji, ale generowały znaczące ilości odpadów plastikowych [32].

Wnioskiem z przeprowadzonego badania był brak jednolitych i szczegółowych wytycznych dotyczących dekontaminacji wielorazowych staz, co stanowi realne zagrożenie epidemiologiczne. Autorzy rekomendują wprowadzenie jednolitych instrukcji dotyczących metod, czasu i częstotliwości dezynfekcji. Ponadto sugerują rozważenie zastosowania nanosrebra w procesach dezynfekcji staz, co mogłoby skuteczniej eliminować patogeny i wydłużać ochronę antybakteryjną. Podkreślają potrzebę edukacji personelu medycznego oraz monitoringu przestrzegania procedur, a także uwzględnianie aspektów ekologicznych przy wyborze staz, by osiągnąć kompromis między bezpieczeństwem pacjenta a redukcją odpadów [32].

To badanie uwidocznilo lukę w dostępności informacji o bezpiecznym użytkowaniu wielorazowych staz na polskim rynku, dostarczając podstawy do eksperymentalnych badań mikrobiologicznych przeprowadzonych i przedstawionych w niniejszej rozprawie doktorskiej. Podkreśliło także, konieczność opracowania i wdrożenia skutecznych procedur kontroli zakażeń związanych z użyciem wielorazowych staz.

W trzeciej publikacji o charakterze oryginalnym: Szymczyk J, Kurpas M, Krasieński B, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W. *Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis* Microorganisms. 2025. doi: 10.3390/microorganisms13010152.

Zakażenia szpitalne pozostają jednym z kluczowych wyzwań zdrowia publicznego, a ich profil i częstość zależą od złożonych interakcji pomiędzy środowiskiem szpitalnym, mikroflorą oraz czynnikami epidemiologicznymi. Etiologia zakażeń związanych z opieką zdrowotną obejmuje szerokie spektrum mikroorganizmów — od bakterii stanowiących część prawidłowej mikrobioty gospodarza, przez drobnoustroje egzogenne, aż po patogeny wysoce odporne na antybiotyki. Sprzęt wielorazowy, nawet jeśli w założeniu jest jedynie przejściowym elementem procedur medycznych, może służyć jako powierzchnia umożliwiająca przetrwanie i transfer patogenów między pacjentami, zwłaszcza w środowiskach o wysokiej rotacji chorych [33-35].

Z perspektywy mikrobiologicznej, ściśle monitorowanie i identyfikacja czynników etiologicznych infekcji szpitalnych są kluczowe dla skutecznej kontroli, leczenia oraz prewencji zakażeń ogólnoustrojowych i powikłań septycznych. Dużą rolę odgrywają tu zarówno zdolności adhezyjne i tworzenie biofilmu przez bakterie, jak również zmienność mikroorganizmów i ich oporność na środki dezynfekcyjne. Z punktu widzenia epidemiologii istotne są czynniki ryzyka, takie jak inwazyjne procedury, immunosupresja pacjentów czy nieprzestrzeganie praktyk aseptycznych – wszystkie te elementy podnoszą ryzyko wystąpienia zakażeń w środowisku szpitalnym. Wzrost częstości i różnorodności infekcji, jak również pojawianie się nowych opornych szczepów wymuszają nieustanne doskonalenie zarówno nadzoru epidemiologicznego, jak i praktyk mikrobiologicznych. Badania nad powierzchniami sprzętu medycznego oraz wdrażanie innowacyjnych rozwiązań biotechnologicznych, takich jak nanosrebro, wpisują się w potrzeby skutecznej profilaktyki i ograniczania transmisji patogenów [36-41].

Celem badania była ocena stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powierzchni wielorazowych staz w oddziale ratunkowym i bloku operacyjnym oraz analiza wpływu czasu użytkowania na kolonizację bakteryjną.

Badanie przekrojowe przeprowadzono w Gdańsku w okresie od marca do września 2024 roku na 48 stazach pochodzących z oddziału ratunkowego oraz bloku operacyjnego.

Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Niezależnej Komisji Bioetycznej przy Gdańskim Uniwersytecie Medycznym (nr zgody: KB/45/2024). Ponadto, badanie zarejestrowano pod numerem ClinicalTrials.gov: NCT06566495. Stazy podzielono na trzy grupy według czasu użytkowania: stazy o nieznanym czasie użytkowania, stazy użytkowane przez 14 dni oraz stazy po 28 dniach użytkowania. Materiał do analizy pobierano oddzielnie z części plastikowej (Rycina 5) oraz materiałowej staz (Rycina 6).



Rycina 5. Proces pobierania materiału z plastikowej części [10]

W celu uzyskania reprezentatywnych próbek biologicznych, część materiałowa stazy była poddana mechanicznej homogenizacji w sterylnych workach homogenizacyjnych z bulionem odżywczym, co pozwoliło na skuteczne oddzielenie mikroorganizmów z porowatej powierzchni tkaniny (Rycina 6).



Rycina 6. Zebrany materiał oraz proces homogenizacji materiałowych części staz [10]

Przeprowadzona metodyka stanowi ulepszenie względem wielu innych badań, które wykorzystywały jedynie wymaz lub odciski powierzchniowe. Do hodowli używano podłoży Columbia agar, MacConkey agar i King B agar. Inkubację prowadzono 24 godziny w temp. 37°C.

Dane wprowadzono i przeanalizowano za pomocą oprogramowania Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., Kraków, Polska). Dane opisowe przedstawiono jako częstość, średnie i procenty. Wartości $p < 0,05$ uznano za statystycznie istotne. Z uwagi na to, że dane z izby przyjęć i sali operacyjnej nie spełniały założenia rozkładu normalnego, a także ze względu na małą liczebność próby, zastosowano test U Manna-Whitneya.

Łącznie 48 próbek pobranych z opasek wielokrotnego użytku zawierało kolonie bakteryjne. Ze względu na założenia eksperymentu i ramy czasowe, pięć opasek uciskowych nie zostało uwzględnionych w analizie. Sześć opasek uciskowych wielokrotnego użytku zebrano w każdym z trzech etapów badania na oddziale ratunkowym (łącznie osiemnaście). Na sali operacyjnej zebrano łącznie 30 opasek uciskowych (po 10 na każdym etapie badania).

W przeprowadzonym badaniu wykryto istotną statystycznie różnicę ($p = 0,00001$) między liczbą kolonii bakterii (CFU/cm²) obecnych na stazach na oddziale ratunkowym a liczbą kolonii bakterii obecnych na stazach na sali operacyjnej (Tabela 1).

Tabela 1. Porównanie liczby jednostek tworzących kolonie bakterii na cm² materiału opaski uciskowej i na części plastikowej na płycie agarowej Columbia z 5% krwią owczą. Wartość 667 była graniczna, z niepoliczalną liczbą CFU na podłożu mikrobiologicznym [10].

Type of Data		CFU/cm ² Fabric			CFU Plastic		
Length of Use		Indefinite	14	28	Indefinite	14	28
Type of Room		Time	Days	Days	Time	Days	Days
Emergency department	pediatric room	667	667	256	23	16	8
	pediatric observation	362	667	358	4	10	14
	adult observation	667	667	667	300	23	73
	adult observation	613	667	667	13	20	42
	consultation area	9	327	667	2	3	16
	resuscitation area	667	551	667	61	8	21
mean:		498	591	547	67	13	29
Operating theatre	neurologic	7	20	7	1	0	3
	neurologic	36	16	220	3	0	0
	orthopedic	156	18	102	1	1	0
	orthopedic	124	280	29	2	2	2
	orthopedic	120	198	38	16	5	12
	gynecology	4	4	51	0	0	1
	pediatric	244	22	667	0	0	2
	pediatric	13	13	213	0	0	18
	general surgery	13	36	196	0	8	8
	general surgery	53	4	138	0	1	9
mean:		77	61	166	2	2	6

Ponadto, wykryto istotnie statystyczną różnicę ($p = 0,03$) między 14. a 28. dniem stosowania opaski uciskowej w zakresie liczby jednostek tworzących kolonie (CFU) w badanych punktach medycznych. Nie zaobserwowano istotnej statystycznie różnicy między 14. a 28. dniem stosowania opaski uciskowej w zakresie liczby jednostek tworzących kolonie bakteryjne w oddziale ratunkowym.

Płytki, na których liczba kolonii przekroczyła 300, uznano za niepoliczalne, a wartość ta została przyjęta jako maksymalna liczba mikroorganizmów. W takich przypadkach, po przeliczeniu 300 kolonii na jednostki CFU/cm², przyjęto wartość graniczną równą 667 CFU/cm². Średnia liczba jednostek tworzących kolonie (CFU/cm²) na wszystkich etapach badania na oddziale ratunkowym wyniosła 545 CFU/cm², a na salach operacyjnych

101 CFU/cm². Dla porównania, na powierzchni ludzkiej skóry średnia liczba mikroorganizmów wyizolowanych tradycyjnymi metodami hodowli z powierzchni skóry waha się od 10⁴ do 10⁵ CFU/cm² [42,43]. Największy odsetek skolonizowanych opasek uciskowych odnotowano na oddziale ratunkowym, zwłaszcza na obszarze pediatrycznym oraz na sali obserwacji dorosłych.

W przypadku podłoża MCC (agar MacConkey) średnia liczba drobnoustrojów na oddziale ratunkowym wynosiła 517 CFU/cm², a na sali operacyjnej 29 CFU/cm². W przypadku podłoża King B średnia liczba drobnoustrojów na oddziale ratunkowym wynosiła 517 CFU/cm², a na sali operacyjnej 207 CFU/cm² (Tabela 2). Nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy w liczbie drobnoustrojów (CFU/cm²) między 14-dniowymi a 28-dniowymi odstępami czasu. W sumie 21 z 48 zbadanych opasek uciskowych (44%) miało widoczne plamy krwi. Dalsze analizy powinny objąć ocenę związku między obecnością plam krwi na opaskach uciskowych a ryzykiem transmisji wirusów przenoszonych przez krew, takich jak HBV, HCV i HIV.

Tabela 2. Porównanie liczby jednostek tworzących kolonie na cm² materiału opaski uciskowej na podłożach MacConkey i King B.

	Type of Data	MacConkey CFU/cm ²			King B CFU/cm ²		
	Length of Use	Indefinite	14	28 Days	Indefinite	14	28
	Type of Room	Time	Days		Time	Days	Days
Emergency department	pediatric room	709	453	227	667	667	118
	pediatric observation	191	911	487	667	667	231
	adult observation	667	667	667	667	667	373
	adult observation	558	667	667	416	667	649
	consultation area	9	140	667	4	238	667
	resuscitation area	667	280	667	667	607	667
average CFU/cm ² :		467	520	564	515	586	451
Operating theatre	neurologic	0	27	0	11	22	0
	neurologic	13	4	0	33	11	427
	orthopedic	129	27	0	31	4	9
	orthopedic	144	187	0	44	236	0
	orthopedic	56	167	0	64	160	7
	gynecology	0	2	0	0	18	13
	pediatric	33	24	0	131	18	667
	pediatric	7	11	11	18	13	29
	general surgery	2	16	0	7	2	40
	general surgery	20	2	0	27	2	16
average CFU/cm ² :		40	46	1	37	49	121

Podsumowując, obecność bakterii wykryto na wszystkich badanych stazach. Stazy z oddziału ratunkowego cechowały się znacząco wyższą kolonizacją bakteryjną (średnio 545 CFU/cm²) niż te z bloku operacyjnego (101 CFU/cm², p=0,00001). Aż 44% staz miało widoczne plamy krwi, co zwiększa ryzyko transmisji patogenów krwiopochodnych. Podłoża MacConkey i King B potwierdziły obecność znacznej liczby Enterobacteriaceae i *Pseudomonas* spp., szczególnie w oddziale ratunkowym.

Przeprowadzone badanie charakteryzowało się pewnym ograniczeniem, między innymi małą liczebnością próby ($n = 48$) i wąskim zakresem analizowanych mikroorganizmów. Dlatego też, przyszłe badania powinny obejmować większe próbki

i badać szersze spektrum mikroorganizmów, aby uzyskać bardziej kompleksowe dane na temat ryzyka związanego z opaskami uciskowymi wielokrotnego użytku.

W rezultacie, przeprowadzone badanie dostarcza dowodów na znaczne zanieczyszczenie mikrobiologiczne wielorazowych opasek uciskowych do pobierania krwi. Wykryto różne gatunki bakterii i różną liczebność w wybranych punktach szpitalnych. Wyniki te podkreślają ryzyko zakażeń związane z wielorazowymi opaskami uciskowymi, co podkreśla potrzebę rygorystycznych protokołów dekontaminacji, szczególnie w obszarach wysokiego ryzyka. Ze względu na brak spójnych wytycznych dotyczących dekontaminacji i wysoki poziom skażenia staz, rekomenduje się stosowanie wyłącznie jednorazowych opasek uciskowych. Niezbędne są również zmiany systemowe obejmujące procedury czyszczenia sprzętu, szkolenia personelu oraz politykę doboru wyposażenia [10].

Zastosowanie w/w wyników w praktyce pielęgniarskiej może pomóc w zmniejszeniu liczby zakażeń i poprawie jakości opieki zdrowotnej. Szkolenie personelu pielęgniarskiego w zakresie najlepszych praktyk dotyczących obchodzenia się ze sprzętem wielorazowym jest niezbędne dla zapewnienia wysokich standardów opieki nad pacjentem. Wyniki podkreślają również znaczenie budowania kultury bezpieczeństwa, w której pielęgniarki odgrywają kluczową rolę w przestrzeganiu najlepszych praktyk i identyfikowaniu ryzyka zakażeń szpitalnych. W związku z tym zasadne wydaje się wdrożenie jednorazowych staz, które mogłyby ograniczyć ryzyko transmisji drobnoustrojów i poprawić bezpieczeństwo procedur diagnostycznych.

Ostatnia publikacja wchodząca w skład cyklu rozprawy doktorskiej to badanie pt: *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* autorstwa Szymczyk J., Jaskulak M, Kurpas M, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W. Applied Sciences. 2025. doi: 10.3390/app15137545.

Zakażenia związane z opieką zdrowotną (HAI) stanowią jedno z największych wyzwań współczesnej medycyny, wnosząc istotny wkład w wzrost zachorowalności i śmiertelności w placówkach medycznych na całym świecie [44]. Tradycyjne metody diagnostyczne, oparte na hodowli mikroorganizmów, choć nadal powszechnie stosowane, mają ograniczenia w wykrywaniu możliwych gatunków bakterii obecnych na powierzchni narzędzi diagnostycznych stosowanych w punktach opieki zdrowotnej [45]. W tym kontekście metagenomika, dzięki analizie sekwencji 16S rRNA a, umożliwia kompleksową

identyfikację bakterii, również tych niehodowlanych, dostarczając szerokiego możliwego mikrobiologicznego skażenia. Takie podejście jest szczególnie istotne przy badaniu wielorazowych staz do pobierania krwi — urządzeń bezpośrednio kontaktujących się ze skórą pacjenta i potencjalnie przenoszących patogeny. Stazy pełnią rolę narzędzi, które sprzyjają transferowi wieloopornych i biofilmotwórczych bakterii, zagrażających zdrowiu pacjentów. Metagenomiczna analiza na powierzchniach staz pozwala lepiej zrozumieć profil bakteryjny w środowiskach klinicznych, co stanowi podstawę do usprawnienia protokołów dezynfekcji oraz działań zapobiegawczych ograniczających ryzyko zakażeń szpitalnych [46]. Parreira *et al.* wykazali, że stosowanie jednorazowych opasek uciskowych i opatrunków ze wzmocnionymi krawędziami zmniejszyło wskaźnik zakażeń PIVC z 44,1% do 17,9% [22]. Najczęściej izolowanymi bakteriami na powierzchniach opasek uciskowych są gronkowce, zwłaszcza gronkowce koagulazo-ujemne i *Staphylococcus aureus*, ale obecne są również inne patogeny, takie jak *Bacillus*, jak też bakterie z rodziny Enterobacteriaceae, *Enterococcus*, a nawet szczepy odporne na antybiotyki, takie jak MRSA – odporne na metycylinę szczepy gronkowca złocistego [6]. Wielorazowe opaski uciskowe mogą działać jak nośniki transmisji patogenów między pacjentami, często poprzez ręce pracowników ochrony zdrowia [26]. Konstrukcja elastycznych materiałów i powierzchni opasek uciskowych, które są trudne do dokładnego czyszczenia, utrudnia skuteczną dezynfekcję, a rutynowe procedury są często niewystarczające [32,47]. Z tych powodów coraz więcej organizacji międzynarodowych zaleca stosowanie jednorazowych opasek uciskowych lub wdrażanie rygorystycznych protokołów czyszczenia w celu zmniejszenia ryzyka zakażeń krzyżowych [16]. Uwzględnienie tych aspektów podkreśla potrzebę badań nad mikroorganizmami obecnymi na opaskach uciskowych wielokrotnego użytku i uwypukla wpływ tego problemu na bezpieczeństwo pacjentów i jakość opieki zdrowotnej.

Dlatego też, w kolejnym etapie badań podjęto próbę rozszerzenia wcześniejszych badań tj. dotyczących wykrycia gatunków bakterii, stosując sekwencjonowanie metagenomiczne 16S rRNA w celu zapewnienia kompleksowej analizy różnorodności bakteryjnej na opaskach uciskowych wielokrotnego użytku.

Celem niniejszego badania była charakterystyka gatunków bakterii obecnych na opaskach uciskowych wielokrotnego użytku stosowanych na oddziałach ratunkowych i salach operacyjnych, z oceną różnic obecności i różnorodności gatunkowej w zależności od miejsca i czasu użytkowania za pomocą sekwencjonowania 16S rRNA V3-V4.

Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Niezależnej Komisji Bioetycznej przy Gdańskim Uniwersytecie Medycznym (nr zgody: KB/45/2024). Ponadto, badanie zarejestrowano pod numerem NCT06566495 w ClinicalTrials.gov.

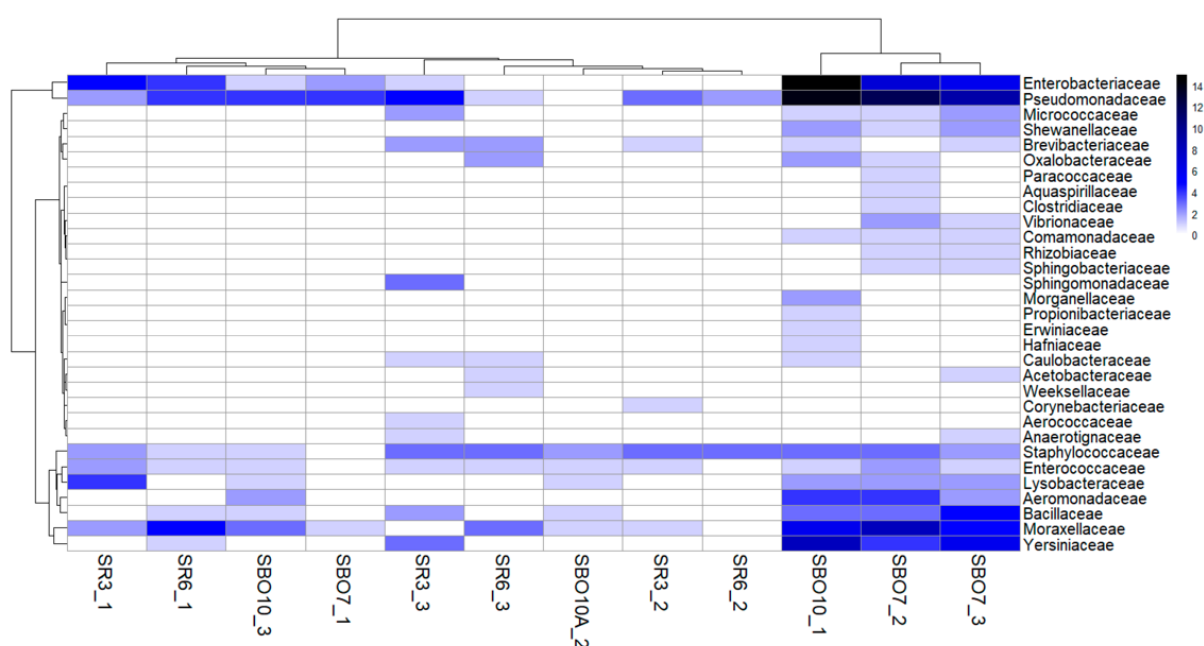
Badanie przekrojowe przeprowadzono od lipca 2024 do lutego 2025 w szpitalu trzeciego stopnia referencyjności w Gdańsku [48]. Analizie poddano 12 wielorazowych staz. Próbkę pobrano po nieokreślonym czasie użytkowania, 14 dniach oraz 28 dniach. Z części materiałowej każdej stazy wyodrębniano DNA, które analizowano sekwencjonowaniem regionu V3–V4 16S rRNA z użyciem technologii NGS. Taxony przypisano na podstawie porównania sekwencji do bazy NCBI/BLAST.

Tabela 3. Występowanie patogenów odpowiedzialnych za zakażenia związane z opieką zdrowotną (HAI) na opaskach uciskowych [48]

Microorganism	Percent of HAI Cases in Europe 2022–2023 [cyt]	Number of Tourniquets All	Number of Tourniquets Emergency Department	Number of Tourniquets Operating Theater
<i>E. coli</i>	12.7%	0/12	0/6	0/6
<i>Klebsiella</i> spp.	11.7%	5/12	2/6	3/6
<i>Enterococcus</i> spp.	10%	9/12	4/6	5/6
<i>Staphylococcus aureus</i>	9%	1/12	0/6	1/6
<i>Clostridium difficile</i>	8%	0/12	0/6	0/6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7.9%	9/12	4/6	5/6
Coagulase-negative staphylococci	5.8%	11/12	6/6	5/6
<i>Proteus</i> spp.	3.2%	0/12	0/6	0/6
<i>Acinetobacter</i> spp.	3.2%	10/12	4/6	6/6
<i>Enterobacter</i> spp.	3%	0/12	0/6	0/6

- Łącznie wykryto 131 gatunków bakteryjnych należących do dominujących typów: Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, Bacteroidetes.
- Wśród najczęstszych, klinicznie istotnych patogenów HAI, najczęściej występowały: *Klebsiella* spp. (5 z 12 staz), *Enterococcus* spp. (9 z 12 staz), *Staphylococcus aureus* (1 z 12 staz), *Pseudomonas aeruginosa* (9 z 12 staz), *Acinetobacter* spp. (10 z 12 staz). Nie wykryto *E. coli*, *Clostridium difficile*, *Proteus* spp., *Enterobacter* spp.

- Stazy z oddziału ratunkowego wykazywały wyższy poziom zanieczyszczenia bakteryjnego, natomiast stazy z bloku operacyjnego charakteryzowały się większą różnorodnością gatunkową.
- Analiza klastrow: wyodrębniono trzy grupy próbek, przy czym najwyższą różnorodność bakteryjną obserwowano wyłącznie w próbkach z bloku operacyjnego.
- Indeks Shannona dla bloku operacyjnego wynosił 2,29, dla oddziału ratunkowego — 2,17.



Rycina 7. Heatmap z analizą skupień prezentującą różnorodność gatunkową bakterii na poziomie rodzin bakteryjnych w badanych stazach [48]

Wyniki badań przedstawione w publikacji pt. *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* wpisują się w cel szczegółowy dotyczący metagenomicznej charakterystyki gatunkowej bakterii obecnych na stazach używanych w badanych placówkach medycznych. Wyniki dostarczają unikalnych dowodów na obecność licznych patogenów HAI oraz istotną zmienność bakteryjną w zależności od środowiska klinicznego. Podkreślono konieczność rewizji procedur dezynfekcji i organizacji pracy oraz potrzebę dalszych badań nad wpływem różnych czynników na skażenie staz w praktyce klinicznej [48].

Sekwencjonowanie 16S rRNA umożliwia identyfikację taksonomiczną, ale nie różnicuje bakterii żywych od martwych ani nie określa profili oporności na antybiotyki. Brak kontroli negatywnych (np. nieużywanych opasek uciskowych) ogranicza bezpośrednie porównania skuteczności dezynfekcji. Jest to jednak zgodne z tym, że niniejsze badanie koncentruje się na dynamice zanieczyszczeń w aktywnie używanych urządzeniach klinicznych. Wreszcie, różnice sposoby przechowywania staz na różnych oddziałach szpitalnych mogły wpływać na poziom zanieczyszczenia mikrobiologicznego. W niniejszym badaniu nie monitorowano sposobu, w jaki sposób personel medyczny obchodził się z opaskami uciskowymi, co obejmowało również potencjalne stosowanie środków dezynfekujących. Ponadto, stosunkowo niewielka liczebność próby ($n = 12$) może ograniczać możliwość uogólnienia naszych ustaleń na inne warunki kliniczne. Przyszłe badania powinny obejmować większe próby i systematycznie dokumentować protokoły użytkowania opasek i dekontaminacji, aby lepiej ocenić czynniki wpływające na zanieczyszczenie opasek uciskowych. Co więcej, chociaż przejście na jednorazowe opaski uciskowe może zmniejszyć ryzyko zanieczyszczenia krzyżowego, takie podejście stwarza dodatkowe wyzwania. Jednorazowe opaski uciskowe są zazwyczaj wykonane z niebiodegradowalnych tworzyw sztucznych, co przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska i zwiększenia śladu węglowego. Z drugiej strony, niedostatecznie dezynfekowane opaski uciskowe wielokrotnego użytku mogą ułatwiać przenoszenie zakażeń związanych z opieką zdrowotną, która wiąże się ze znacznymi kosztami leczenia. Koszty ekonomiczne związane z leczeniem pojedynczego epizodu zakażenia może znacznie przewyższać koszty wdrożenia alternatywnych rozwiązań jednorazowych. Dlatego też, przyszłe badania powinny również uwzględniać wpływ jednorazowych opasek uciskowych na środowisko i przeprowadzać kompleksowe analizy kosztów i korzyści, aby ukierunkować strategię kontroli zakażeń w różnych placówkach opieki zdrowotnej.

Przeprowadzona analiza metagenomiczna potwierdziła, że wielorazowe opaski uciskowe stanowią istotny rezerwuár drobnoustrojów, w tym patogenów związanych z zakażeniami szpitalnymi, szczepów wielolekoopornych oraz bakterii zdolnych do tworzenia biofilmu. Stwierdzona obecność *Acinetobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Pseudomonas* spp., *Enterococcus* spp. i *Staphylococcus aureus* podkreśla realne ryzyko transmisji patogenów w środowisku klinicznym. Zaobserwowane różnice w różnorodności bakteryjnej pomiędzy badanymi oddziałami szpitalnymi wskazują, że poziom skażenia może być modulowany przez lokalne praktyki organizacyjne, procedury czyszczenia oraz czas użytkowania sprzętu.

W świetle przedstawionych wyników zasadne wydaje się stosowanie jednorazowych opasek uciskowych jako elementu strategii ograniczania zakażeń krzyżowych. W sytuacjach, w których stosowanie sprzętu wielorazowego pozostaje konieczne, niezbędne jest wdrożenie ujednoliconych, skutecznych procedur dekontaminacji oraz ścisły nadzór nad ich przestrzeganiem.

Jednocześnie, powszechne stosowanie opasek jednorazowych może generować dodatkowe obciążenia środowiskowe związane z wykorzystaniem niebiodegradowalnych tworzyw sztucznych. Dlatego przyszłe badania powinny obejmować ocenę wpływu środowiskowego i analizę kosztów oraz korzyści stosowania alternatywnych rozwiązań, aby wypracować zrównoważone strategie kontroli zakażeń uwzględniające zarówno aspekty kliniczne, jak i ekologiczne.

Wnioski końcowe:

1. Wyniki przeglądu potwierdziły, że stazy wielorazowego użytku stanowią istotny rezerwuár patogenów, w tym szczepów wielolekoopornych, co zwiększa ryzyko zakażeń krzyżowych w środowisku klinicznym. Wskazano na brak spójnych i skutecznych wytycznych dotyczących ich dekontaminacji, co uzasadnia konieczność wdrożenia standaryzowanych procedur lub stosowania wyrobów jednorazowych [31].
2. Wyniki wykazały, że większość wielorazowych staz (7 z 11 specyfikacji produktu) nie zawierała precyzyjnych instrukcji dekontaminacji. Zalecenia dotyczące autoklawowania (120–121 °C, 1 bar) podano jedynie dla dwóch produktów, jednak brakowało danych dotyczących czasu i częstotliwości procesów. Jedynie jeden producent (Daisygrip) podał polecany czas dezynfekcji (30 sekund z użyciem

chusteczek dezynfekcyjnych). Wszystkie stazy jednorazowe były jasno oznaczone jako „jednorazowe” i nie wymagały dezynfekcji, ale generowały znaczące ilości odpadów plastikowych [32].

3. Przeprowadzone badania oryginalne wykazały obecność bakterii we wszystkich badanych punktach poboru staz. Stazy z oddziału ratunkowego cechowały się znacząco wyższą kolonizacją bakteryjną (średnio 545 CFU/cm²) niż te z bloku operacyjnego (101 CFU/cm², $p=0,00001$). Istotnie statystycznie różnice wykryto także między 14 a 28 dniem użytkowania ($p=0,03$). Aż 44% staz miało widoczne plamy krwi, co zwiększa ryzyko transmisji patogenów krwiopochodnych. Podłoża MacConkey i King B potwierdziły obecność znacznej liczby Enterobacteriaceae i *Pseudomonas* spp., szczególnie w oddziale ratunkowym [10].
4. Analiza metagenomiczna bakterii wykrytych na wielorazowych opaskach uciskowych wykazała obecność klinicznie istotnych patogenów, w tym *Klebsiella* spp., *Enterococcus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Acinetobacter* spp. Łącznie wykryto 131 gatunków bakteryjnych należących do dominujących typów: Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, Bacteroidetes. Wśród najczęstszych, klinicznie istotnych patogenów HAI, najczęściej występowały: *Klebsiella* spp. (5 z 12 staz), *Enterococcus* spp. (9 z 12 staz), *Staphylococcus aureus* (1 z 12 staz), *Pseudomonas aeruginosa* (9 z 12 staz), *Acinetobacter* spp. (10 z 12 staz). Nie wykryto *E. coli*, *Clostridium difficile*, *Proteus* spp., *Enterobacter* spp. [48].

8. PODSUMOWANIE

Przedmiotem niniejszej dysertacji była kompleksowa analiza ryzyka mikrobiologicznego związanego z użytkowaniem wielorazowych staz do pobierania krwi w placówkach ochrony zdrowia. W pracy podkreślono znaczenie zakażeń związanych z opieką zdrowotną (HAI), ich wpływu na zdrowie publiczne i koszty systemowe oraz rolę nośników w transmisji drobnoustrojów. Głównym celem badań była ocena skażenia mikrobiologicznego staz z zastosowaniem metod klasycznych i metagenomicznych oraz analiza zaleceń producentów dotyczących dekontaminacji.

Wykazano obecność klinicznie istotnych patogenów, w tym szczepów wielolekoopornych i biofilmotwórczych, a także różnice w profilach bakteryjnych zależne od środowiska klinicznego i czasu użytkowania. Podkreślono wpływ czynników organizacyjnych i środowiskowych na dynamikę kolonizacji oraz konieczność standaryzacji procedur dezynfekcji i wzmocnienia edukacji personelu. Wskazano również na potrzebę uwzględnienia aspektów środowiskowych i ekonomicznych w projektowaniu sprzętu medycznego, w tym rozwiązań biodegradowalnych.

Ograniczenia badania obejmują m.in. wielkość próby oraz specyfikę jednego ośrodka, co uzasadnia konieczność dalszych, wieloośrodkowych analiz, w tym oceny oporności wykrytych szczepów i analizy cyklu życia stosowanych materiałów. Równolegle prowadzone są badania uzupełniające dotyczące oporności szczepów i analizy cyklu życia (LCA) staz jednorazowych, których wyniki zostaną zaprezentowane w kolejnych publikacjach naukowych.

Uzyskane wyniki potwierdzają obserwacje innych autorów, wskazujące, że sprzęt medyczny wielokrotnego użytku stanowi istotne ogniwo w transmisji drobnoustrojów w środowisku szpitalnym. W odróżnieniu jednak od większości dotychczasowych badań, które koncentrowały się głównie na narzędziach chirurgicznych i sprzęcie wysokiego ryzyka, niniejsza praca wykazała, że także tak pozornie nieinwazyjny element jak staza może być wektorem mikroorganizmów wielolekoopornych. Tym samym wyniki te poszerzają dotychczasowe rozumienie dróg transmisji HAI i wskazują na potrzebę rewizji obowiązujących wytycznych dezynfekcji.

Zastosowanie metod metagenomicznych pozwoliło uchwycić szersze spektrum mikrobioty obecnej na powierzchniach staz, co stanowi istotne uzupełnienie klasycznych metod hodowlanych. Otrzymane dane mogą stać się punktem wyjścia do opracowania precyzyjnych, opartych na dowodach naukowych standardów dotyczących ponownego użycia i dekontaminacji sprzętu niskiego ryzyka.

Interpretując wyniki w kontekście praktyki klinicznej, należy zwrócić uwagę, że nawet przy zachowaniu deklarowanych przez personel zasad higieny, zanieczyszczenie powierzchni roboczych pozostaje znaczące, co potwierdza potrzebę stałego nadzoru i szkoleń. Z punktu widzenia polityki zdrowotnej wnioski te mogą wspierać wdrażanie rozwiązań z zakresu zrównoważonego sprzętu medycznego, uwzględniającego zarówno bezpieczeństwo mikrobiologiczne, jak i aspekty środowiskowe.

Wyniki badań dostarczają naukowych podstaw do rewizji praktyk klinicznych, standaryzacji procedur kontroli zakażeń oraz wprowadzania zmian organizacyjnych i edukacyjnych ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa pacjentów. Badania mają charakter pionierski w skali krajowej i otwierają perspektywę dalszego rozwoju interdyscyplinarnych badań oraz wdrożeń zrównoważonych rozwiązań w obszarze kontroli zakażeń.

9. PIŚMIENNICTWO

1. European Centre for Disease Prevention and Control. Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals, May 2022–2023 [Internet]. Stockholm: ECDC; 2024 [dostęp 2025-08-25]. Dostępny w: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/healthcare-associated-point-prevalence-survey-acute-care-hospitals-2022-2023.pdf>
2. Centers for Disease Control and Prevention. HAIs: Reports and Data [Internet]. Atlanta: CDC; 2024 [dostęp 2025-08-22]. Dostępny w: <https://www.cdc.gov/healthcare-associated-infections/php/data/index.html>
3. UK Health Security Agency. UKHSA publishes latest survey on healthcare-associated infections [Internet]. London: GOV.UK; 2024 [dostęp 2025-08-25]. Dostępny w: <https://www.gov.uk/government/news/ukhsa-publishes-latest-survey-on-healthcare-associated-infections>
4. Dixit S, Varshney S, Gupta D, Sharma S. Textiles as fomites in the healthcare system. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2023 Jun;107(12):3887-3897. doi:10.1007/s00253-023-12569-2. Epub 2023 May 18.
5. Srikanth KK, Lotfollahzadeh S. Phlebotomy. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan– [dostęp 2025-08-28]. Dostępny w: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574569/>
6. Salgueiro-Oliveira AS, Costa PJDS, Braga LM, Graveto JMGN, Oliveira VS, Parreira PMSD. Health professionals' practices related with tourniquet use during peripheral venipuncture: a scoping review. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2019;27:e3125. doi:10.1590/1518-8345.2743-3125
7. Pinto AN, Phan T, Sala G, Cheong EY, Siarakas S, Gottlieb T. Reusable venesection tourniquets: a potential source of hospital transmission of multiresistant organisms. *Med J Aust*. 2011;195(5):276-9. doi:10.5694/mja11.10333
8. Zhang L, Cao S, Marsh N, et al. Infection risks associated with peripheral vascular catheters. *J Infect Prev*. 2016;17(5):207–13. doi:10.1177/1757177416655472

9. Choudhury MA, Marsh N, Banu S, Paterson DL, Rickard CM, McMillan DJ. Molecular comparison of bacterial communities on peripheral intravenous catheters and matched skin swabs. *PLoS One*. 2016;11(1):e0146354. doi:10.1371/journal.pone.0146354
10. Szymczyk J, Kurpas M, Krasinski B, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W. Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis. *Microorganisms*. 2025;13(1):152. doi:10.3390/microorganisms13010152
11. Abeywickrama T, Amarasinghe K, Wijerathne S, et al. Methicillin resistant *Staphylococcus aureus* contamination of phlebotomy tourniquets and faucets. *Ceylon Med J*. 2018;63(1):5-10. doi:10.4038/cmj.v63i1.8627
12. Natarajan A, Das S, Chaudhary N. Microbial Profile of Tourniquets Used in Phlebotomy at a Rural Tertiary Care Teaching Hospital. *Cureus*. 2023;15(11):e49328. doi:10.7759/cureus.49328
13. Nash C, Nelson J. Reusable tourniquets: their impact on patients, planet and public purse. *Nursing Times*. 2024;120:8.
14. Khatoon Z, McTiernan CD, Suuronen EJ, Mah TF, Alarcon EI. Bacterial biofilm formation on implantable devices and approaches to its treatment and prevention. *Heliyon*. 2018;4(12):e01067. doi:10.1016/j.heliyon.2018.e01067
15. Mishra A, Aggarwal A, Khan F. Medical Device-Associated Infections Caused by Biofilm-Forming Microbial Pathogens and Controlling Strategies. *Antibiotics (Basel)*. 2024;13(7):623. doi:10.3390/antibiotics13070623
16. World Health Organization. Guidelines for the prevention of bloodstream infections and other infections associated with the use of intravascular catheters: part I: peripheral catheters [Internet]. Geneva: WHO; 2024 [dostęp 2025-08-23]. Dostępny w: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240093829>
17. ECRI. Top 10 Health Technology Hazards for 2024: Executive Brief. Plymouth Meeting (PA): ECRI; 2024. [dostęp 2025-08-25]. Dostępny w: https://www.ecri.org.uk/wpcontent/uploads/2024/09/ECRI_2024_Top_10_Hazards_Executive_Brief.pdf
18. Shenoy ES, Weber DJ, McMullen K, et al. Multisociety guidance for sterilization and high-level disinfection. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2025;46(6):561-583. doi:10.1017/ice.2025.41

19. Shuman EK, Chenoweth CE. Reuse of medical devices: implications for infection control. *Infect Dis Clin North Am.* 2012;26(1):165-72. doi:10.1016/j.idc.2011.09.010
20. Mimos O, Debonne A, Glanard A, Keita Perse O, Lucet JC. Best practice in the use of peripheral venous catheters: A consensus from French experts. *Infect Dis Now.* 2024 Aug;54(5):104923. doi: 10.1016/j.idnow.2024.104923. Epub 2024 May 15.
21. Schauer CK, Hammer DA. Quantifying patient bacterial exposure risk from reusable phlebotomy tourniquets in a New Zealand secondary level hospital. *J Infect Prev.* 2015 Nov;16(6):262-265. doi: 10.1177/1757177415600242. Epub 2015 Aug 21.
22. Parreira P, Serambeque B, Costa PS, Mónico LS, Oliveira V, Sousa LB, Gama F, Bernardes RA, Adriano D, Marques IA, Braga LM, Graveto J, Osório N, Salgueiro-Oliveira A. Impact of an Innovative Securement Dressing and Tourniquet in Peripheral Intravenous Catheter-Related Complications and Contamination: An Interventional Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Sep 8;16(18):3301. doi: 10.3390/ijerph16183301.
23. Grohmann M, Schomakers L, Wolschendorf F, Grosch J, Lindner S, Witte AK. Reduced bacterial contamination rates detected on silicone tourniquets compared to conventional tourniquets in clinical routine. *BMC Infect Dis.* 2020 Mar 26;20(1):247. doi: 10.1186/s12879-020-04975-y.
24. Golder M, Chan CL, O'Shea S, Corbett K, Chrystie IL, French G. Potential risk of cross-infection during peripheral-venous access by contamination of tourniquets. *Lancet.* 2000 Jan 1;355(9197):44. doi: 10.1016/s0140-6736(99)04051-9.
25. Berman DS, Schaeffer S, Simberkoff MS, Rahal JJ. Tourniquets and nosocomial methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections. *N Engl J Med.* 1986 Aug 21;315(8):514-5. doi: 10.1056/NEJM198608213150812.
26. Culjak M, Gveric Grginic A, Simundic AM. Bacterial contamination of reusable venipuncture tourniquets in tertiary-care hospital. *Clin Chem Lab Med.* 2018 Jul 26;56(8):e201-e203. doi: 10.1515/cclm-2017-0994.
27. Hensley DM, Krauland KJ, McGlasson DL. *Acinetobacter baumannii* and MRSA contamination on reusable phlebotomy tourniquets. *Clin Lab Sci.* 2010 Summer;23(3):151-6. PMID: 20734887.

28. Dhingra N, Diepart M. WHO guidelines on drawing blood: best practices in phlebotomy [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023 [dostęp 2025-09-25]. Dostępny w: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599221>
29. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71
30. Joanna Briggs Institute. JBI Critical Appraisal Checklist for Analytical Cross-Sectional Studies [Internet]. 2017 [dostęp 2025-09-25]. Dostępny w: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
31. Szymczyk J, Månsson M, Mędrzycka-Dąbrowska W. Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms - a systematic review. *Front Public Health*. 2023;11:1258692. doi:10.3389/fpubh.2023.1258692
32. Szymczyk J, Mędrzycka-Dąbrowska W. Wielorazowe stazy: wyzwania, bezpieczeństwo i potrzeba zmian w praktyce klinicznej. *Pielęgniarstwo w Anestezjologii i Intensywnej Opiece*. 2024. doi:10.15374/PwAiIO2024021
33. Garvey M. Medical Device-Associated Healthcare Infections: Sterilization and the Potential of Novel Biological Approaches to Ensure Patient Safety. *Int J Mol Sci*. 2023 Dec 22;25(1):201. doi: 10.3390/ijms25010201.
34. Chatterjee P, Coppin JD, Martel JA, et al. Assessment of microbial bioburden on portable medical equipment in a hospital setting. *Sage Open Medicine*. 2023;11. doi:[10.1177/20503121231162290](https://doi.org/10.1177/20503121231162290)
35. Kanamori H, Rutala WA, Weber DJ. The Role of Patient Care Items as a Fomite in Healthcare-Associated Outbreaks and Infection Prevention. *Clin Infect Dis*. 2017 Oct 15;65(8):1412-1419. doi: 10.1093/cid/cix462.
36. Khammarnia M. Systematic review and meta-analysis of hospital acquired infections. *J Family Med Prim Care*. 2021;10(12):4573–4581. doi:10.4103/jfmprc.jfmprc_1602_21.
37. Alrebish SA, Yusufoglu HS, Alotibi RF, Abdulkhalik NS, Ahmed NJ, Khan AH. Epidemiology of Healthcare-Associated Infections and Adherence to the HAI Prevention Strategies. *Healthcare (Basel)*. 2022 Dec 26;11(1):63. doi: 10.3390/healthcare11010063.
38. Khan HA. Nosocomial infections: epidemiology, prevention, control and surveillance. *Asian Pac J Trop Biomed*. 2017;7(5):478–482. doi:10.1016/j.apjtb.2017.01.019

39. Kalenic S, Budimir A, Komazin-Meredith G. The role of the microbiology laboratory in infection prevention and control. *Int J Infect Control*. 2009;5(1):1–8. doi:10.3396/ijic.v5i1.4116.
40. Sikora A, Papp-Wallace KM. Nosocomial infections. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
41. Cantón R, Gijón D, Ruiz-Garbajosa P. Role of the microbiology laboratory in infectious disease management and infection prevention. *Diagn Microbiol Infect Dis*. 2020;98(2):115116. doi:10.1016/j.diagmicrobio.2020.115116.
42. Cundell AM. Microbial ecology of the human skin. *Microb Ecol*. 2018 Jul;76(1):113–120. doi:10.1007/s00248-016-0789-6.
43. Andersen BM. Prevention and control of infections in hospitals: practice and theory. *J Hosp Infect*. 2018;100(4):e257–e268. doi:10.1016/j.jhin.2018.07.032.
44. Elhassan HA, Dixon T. MRSA contaminated venepuncture tourniquets in clinical practice. *Postgrad Med J*. (2012) 88:194–7. doi: 10.1136/postgradmedj-2011-130411
45. Ahmad S, Lohiya S, Taksande A, Meshram RJ, Varma A, Vagha K. A comprehensive review of innovative paradigms in microbial detection and antimicrobial resistance: Beyond traditional cultural methods. *Cureus*. 2024;16(6):e61476. doi:10.7759/cureus.61476.
46. Gilbert JA, Blaser MJ, Caporaso JG, Jansson JK, Lynch SV, Knight R. Current understanding of the human microbiome in healthcare settings. *Microbiome*. 2021;9(1):259. doi:10.1186/s40168-021-01180-6
47. Paduret G, Primosa F, Bujdos MJ, Artioli G, Sarli L, La Sala R, Dicembrino RB, Marra SL, Marletta G. The Nursing Management of Tourniquet: the infective risk related to its use. *Acta Biomed*. 2021 Dec 22;92(S2):e2021361. doi: 10.23750/abm.v92iS2.12190
48. Szymczyk J, Jaskulak M, Kurpas M, Zorena K, Mędrzycka-Dąbrowska W. Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments. *Applied Sciences*. 2025;15(13):7545.

**PUBLIKACJE WCHODZĄCE
W SKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**



OPEN ACCESS

EDITED BY

Huiyin Tu,
University of Nebraska Medical Center,
United States

REVIEWED BY

Paul Kwon,
Walter Reed Army Institute of Research,
United States
Anthony Evans,
University of Nebraska Medical Center, United
States

*CORRESPONDENCE

Wioletta Mędrzycka-Dąbrowska
✉ wioletta.medrzycka@gumed.edu.pl

RECEIVED 14 July 2023

ACCEPTED 16 October 2023

PUBLISHED 13 November 2023

CITATION

Szymczyk J, Månsson M and
Mędrzycka-Dąbrowska W (2023) Reusable
tourniquets for blood sampling as a source of
multi-resistant organisms – a systematic review.
Front. Public Health 11:1258692.
doi: 10.3389/fpubh.2023.1258692

COPYRIGHT

© 2023 Szymczyk, Månsson and Mędrzycka-Dąbrowska. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms – a systematic review

Julia Szymczyk¹, Michelle Månsson² and
Wioletta Mędrzycka-Dąbrowska^{3*}

¹Student Scientific Club of Anesthesia and Intensive Care, Medical University of Gdańsk, Gdańsk, Poland, ²Student Nursing Programme, Swedish Red Cross University, Huddinge, Sweden, ³Department of Anesthesiology Nursing & Intensive Care, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdańsk, Gdańsk, Poland

Introduction: The use of reusable tourniquets is widespread around the world, and reports suggest they may be overused. Several studies have shown that reusable tourniquets can affect the spread of pathogens between patients. Based on available studies, this review aims to analyse the indirect transmission of antimicrobial-resistant pathogens present on blood collection tourniquets, which may spread infectious diseases between patients in daily clinical practice.

Methods: A systematic review of the literature was conducted according to the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) protocol guidelines. The contents of PubMed, EBSCO (electronic databases), and Scopus were screened. Keywords used in the search included: "tourniquet," "cross infection," "nosocomial infection," "*staphylococcus aureus*," "MRO," "pathogen," "infectious disease," "anti-microbial," or a combination of these using AND or OR operators. Finally, 13 publications were included. Data were analysed both descriptively and quantitatively by calculating a balanced average for specific synthesized data.

Results: The proportional observation based on the number sampled median was 77. The genus MRSA was the type of bacteria most commonly found: on 12% of all tested tourniquets. The amount of MRSA found on tourniquets was mean $\pm$ SD 14.6 ± 45.89 . A review of studies also revealed the presence of *coagulase-negative staphylococci*, *Bacillus*, and *Staphylococcus aureus*.

Conclusion: Patient safety may be at risk due to elevated contamination rates of reusable tourniquets. The microorganisms responsible for this contamination include a variety of species, the most common being the genus *Staphylococcus*. For this reason, we recommend the use of disposable tourniquets.

KEYWORDS

tourniquet, cross infection, nosocomial infection, *Staphylococcus aureus*, MRO, pathogen, infectious disease

Introduction

Collecting blood through peripheral venous access using tourniquets is one of the most common invasive procedures in hospitals and other medical facilities. However, tourniquets for venipuncture are non-sterile and potentially reusable equipment. The usual technique for providing venous access is to apply a reusable tourniquet to the patient's arm (1). Conventional tourniquets are made of fabric, and their porous structure can be a potential reservoir of infection. Usual tourniquets can be recycled through sterilization or dipping in disinfectants. Such methods are time-consuming and unsuitable for immediate use between patients (2). The most common way to disinfect reusable tourniquets is to spray them with disinfectant and hang the tourniquet to dry, but such a disinfection method is not effective as it is time-consuming. The use of such tourniquets, transferred between multiple patients, contributes to the transmission of multiresistant microorganisms (MROs) between patients and contradicts basic infection control principles (3–6). Reusable tourniquets used for blood collection are a potential carrier of multiresistant microorganisms. Disinfection of reusable equipment is not clear-cut, thus the use of disposable tourniquets, which do not require disinfection and are disposable, is preferable to reusable tourniquets. Several studies have shown that the use of reusable tourniquets can contribute to the transmission of MRO between patients. This is particularly important for immunocompromised patients who are at risk for nosocomial infections (2, 7). Improving the quality of health care involves increasing the quality and safety of medical devices used by health care workers, such as during blood draws (1). Since a review of the literature can identify major epidemiological and clinical findings, our purpose was to provide a comprehensive report on the proportion of sampled specimens between the use of reusable tourniquets and the pathogens detected on them based on recent studies.

Methods

Study design

The literature review was performed in the second quarter of 2023. This systematic review was carried out in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) statement using PICO-based questions (patients, interventions, comparisons, and outcomes). The resources of PubMed, EBSCO (electronic databases), Scopus, and MEDLINE were searched. No filters were used during the search, and the search included backward citation of eligible full-text trials.

Evidence acquisition

In May 2023, three independent researchers (JS, MM, and WM-D) conducted a search of the targeted online databases for eligible studies. The keywords used were “tourniquet,” “cross-infection,” “nosocomial infection,” “*staphylococcus aureus*,” “MRO,” “pathogen,” “infectious disease,” “anti-microbial” or a combination of these using AND or OR operators. The preliminary search returned

291 articles, 13 of which were included in further analysis. Papers published in English were included in the analyses.

Inclusion and exclusion criteria

The inclusion and exclusion criteria were based on the PICOS classification. If articles fulfilled predefined criteria, they were included and classified as basic research (animal and cell studies), epidemiological (morbidity and mortality studies), and treatment studies. Articles were excluded if the full text was not publicly available was not available in English and if articles were not original articles or did not support PICO.

Inclusion criteria:

- articles in English
- research group consisting only of reusable tourniquets
- studies describing pathogens on reusable tourniquets

Exclusion criteria:

- articles in a language other than English or Polish
- research where a study group consisted of medical equipment different than reusable tourniquets

Evidence synthesis and quality assessment

Three independent researchers (JS, MM, and WM-D) retrieved and summarized information from the eligible studies in tables. The authors discussed conflicts regarding study inclusion and managed to resolve them by consensus. Studies were considered to be of high quality with a tool created by the Joanna Briggs Institute (JBI) (8). The system created by the JBI was designed to provide reviewers with a comprehensive guide on how to conduct a systematic review and how to rank selected articles (JBI for manual synthesis)¹. Additionally, an appraisal checklist with 11 criteria (Q1-Q11) was also used. The questions on the checklist centered on the inclusion criteria of the selected articles, the sources and resources of the selected material, and the type of approaches used in the study. The answers used were yes, no, unclear, or not applicable. The outcomes of the quality assessment are described in Table 1.

Results

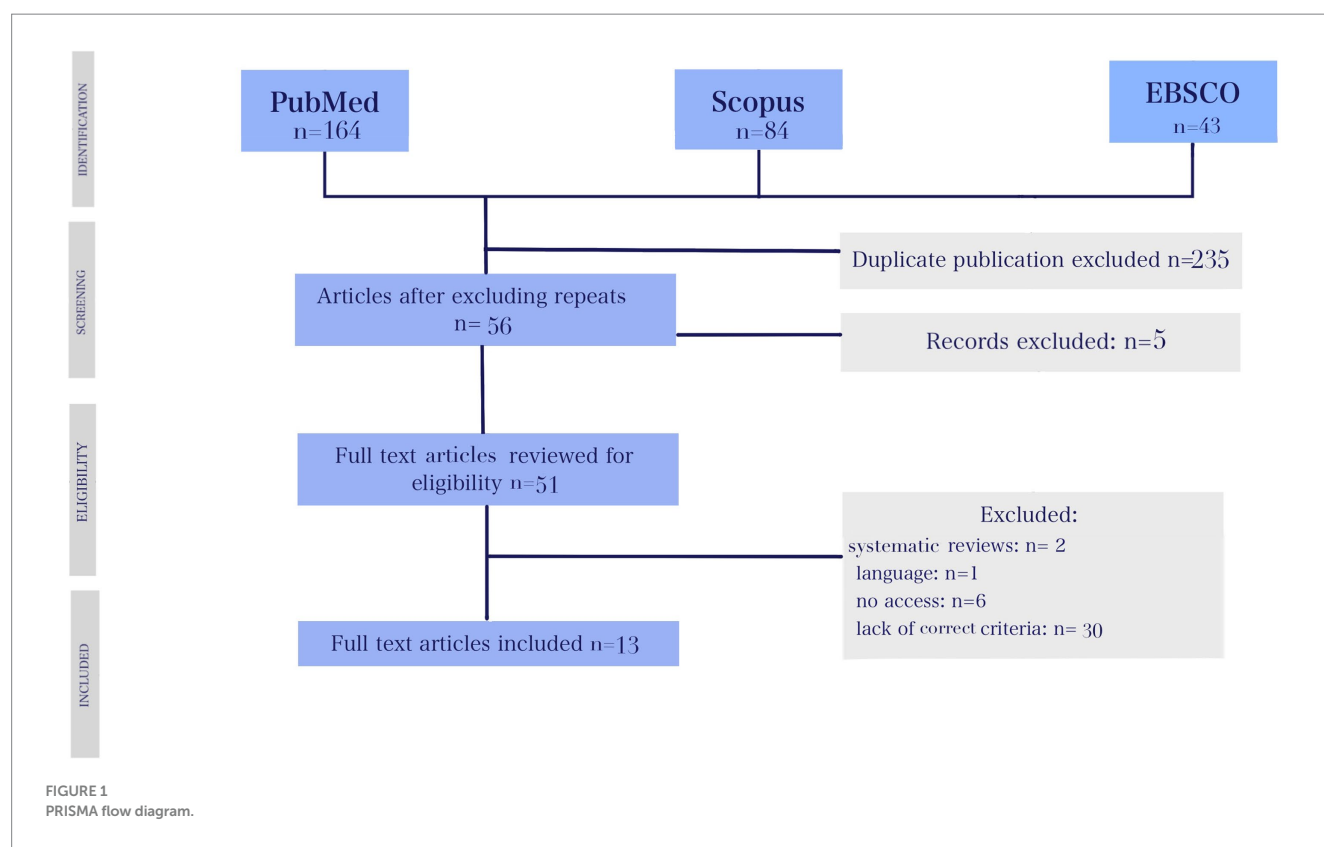
A total of 291 articles were found in the scientific databases. After removing duplicates, 56 papers remained for analysis. Then, 51 full-text articles were retained after reviewing abstracts. The next step focused on inclusion and exclusion criteria (38 were rejected). At the stage of qualitative text analysis, four articles were rejected. Finally, 13 articles were accepted for systematic analysis (Figure 1).

¹ <https://jbi-global-wiki.refined.site/space/MANUAL>

TABLE 1 Critical appraisal results for included studies.

Author, year	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
Elhassan H. A. et al. (2012) (9)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	Y	Y	Y
Mehmood Z. et al. (2014) (10)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	U	Y	U	Y	Y
Leitch A. et al. (2006) (11)	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	U	Y	Y
Golder M. et al. (2000) (3)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	U	Y	N	Y	Y
Rourke C. et al. (2001) (12)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	Y	Y	U
Berman D. S. et al. (1986) (4)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	Y	Y	Y
Culjak M. et al. (2018) (5)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	N	Y	Y
Pinto A. N. et al. (2011) (13)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	U	Y	Y
Hensley D. M. et al. (2010) (6)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	n/a	Y	U	Y	Y
Abeywickrama T. et al. (2010) (14)	Y	n/a	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y
Franklin G. F. et al. (2017) (15)	Y	Y	Y	Y	Y	U	U	Y	Y	Y	Y
de Oliveira Batista K. C. et al. (2015) (16)	Y	Y	Y	Y	n/a	n/a	U	Y	N	Y	Y
Kane L. et al. (2011) (17)	Y	Y	N	n/a	U	n/a	n/a	Y	U	Y	Y

Y, yes; N, no; U, unclear; n/a, not applicable. Q1: Was the review question clearly and explicitly stated? Q2: Were the inclusion criteria appropriate for the review question? Q3: Was the search strategy appropriate? Q4: Were the sources and resources used to search for studies adequate? Q5: Were the criteria for appraising studies appropriate? Q6: Was the critical appraisal independently conducted by two or more reviewers? Q7: Were there methods to minimize errors in data extraction? Q8: Were the methods used to combine studies appropriate? Q9: Was the likelihood of publication bias assessed? Q10: Were recommendations for policy and/or practice supported by the reported data? Q11: Were the specific directives for new research appropriate?



Some limitations need to be highlighted, such as limited observations due to the number of samples taken and the fact that there was no methodological correlation with regard to nosocomial infections caused by contaminated tourniquets.

The included studies were conducted between 1986 and 2018 in countries such as the United Kingdom, the United States, Canada, and Pakistan. The proportional observation based on the number sampled median was 77. The genus MRSA was the type of bacteria most

commonly found: on 12% of all tested tourniquets, with the median of MRSA amounting to 8.5%. The amount of MRSA found on tourniquets was mean $\pm$ SD 14.6 $\pm$ 45.89. A review of studies also revealed the presence of *coagulase-negative staphylococci*, *Bacillus*, and *Staphylococcus aureus*.

A synthesis of the qualitative results of the review of the literature on reusable compression tourniquets in the field of MRO is presented in Table 2.

TABLE 2 Synthesis of qualitative results of literature review relating to reusable tourniquets in the field of MRO.

Author and year of publication	Aim	Study group	Materials and methods	Results	Implications for nursing practice
Elhassan H. A. et al. (2012) (9)	MRSA-contaminated venipuncture tourniquets in clinical practice.	50 reusable tourniquets collected from two district hospitals in Essex, UK	- The bag with a tourniquet and 10 ml of Ringer's solution was shaken vigorously to elute the organism from the tourniquet. - A sample of the 'tourniquets derived solution' was dropped by pipette (one drop – 50 µL) and spread by sterile disposable loop onto agar with 5% horse blood, nalidixic acid, colistin, and mannitol – salt agar plates and incubated at 37°C aerobically for 48 h.	- 18/50 (36%) tourniquets were positive with <i>Staphylococcus aureus</i> and of these 6/50 (12%) were methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>, MRSA positive - 10/50 (20%) grew <i>bacillus</i> - 30/50 (60%) were visibly blood stained	Common patient devices, including disposable tourniquets, should be cleaned every time they are used. If shared equipment is unable to be cleaned among patients, disposable items are preferred.
Mehmood Z. et al. (2014) (10)	Potential risk of cross-infection by tourniquets: a need for effective control practices in Pakistan.	100 reusable tourniquets collected from public (40) and private (60) hospitals in Karachi, Pakistan	- To obtain the samples, swab sticks moistened with sterilized saline were rotated over both sides of the tourniquet at the distal and proximal ends. - The samples were streaked onto basic blood agar and McConkey's agar culture medium.	- Bacterial growth was found on 23/40 samples from public sector hospitals and on 28/60 from the private sector hospitals - MRSA was more prevalent in public than in the private sector hospitals (18,2% vs. 16,6%) - <i>Staphylococcus aureus</i> was found on 12 of 100 tourniquets.	Ceasing multiple-use tourniquets, using cost-effective, disposable tourniquets, and introducing proactive prevention methods such as effective hand hygiene are the only effective measures to prevent cross-infection. The use of disposable tourniquets should be the norm, as there is no reliable way to disinfect reusable tourniquets.
Leitch A. et al. (2006) (11)	Reducing the potential for phlebotomy tourniquets to act as a reservoir for methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>	131 reusable tourniquets	- The tourniquets were collected into specimen bags, coded, and transported to the laboratory. - In the laboratory, the tourniquets were pressed onto blood agar and mannitol salt, then swabbed lengthwise by a sterile moist swab. - This was then used to inoculate 7% salt broth. - After 24 h of incubation at 37°C, the broth was inoculated in lines across an ISO-sensitest plate.	- The rate of contamination with MRSA was 32 of 131 (25%) tourniquets. - 12/131 (9%) <i>Staphylococcus aureus</i> - 73/131 (56%) <i>coagulase-negative staphylococci</i>	The process of decontaminating reusable medical devices such as tourniquets was inadequate according to the authors, and the use of disposable ones should be implemented. Taint rates, and consequently the potential risk, can be decreased if hand decontamination is carried out.
Golder M. et al. (2000) (3)	Potential risk of cross-infection during peripheral-venous access by contamination of tourniquets	77 reusable tourniquets collected from a London teaching hospital and two large district hospitals, UK	Group A: -50 tourniquets were examined for visible bloodstains. They were pressed three times onto the blood-agar plates, which were incubated at 37°C in air.	17/50 tourniquets had bacterial pathogens: MRSA (12), <i>Escherichia coli</i> (1), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (1), <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> (1), <i>Enterococcus faecalis</i> (1)	In areas at increased risk of HIV-1 or hepatitis B virus infection, there is a potential risk of virus transmission from tourniquets to the patient through areas of damaged tissue, such as venous access and monitoring sites, open wounds, eczema, cuts, and abrasions. Hand washing between patients is highlighted as an important component of nosocomial infections. The authors suggest the need for the use of disposable tourniquets.
			Group B: -27 tourniquets with visible bloodstains (group B) were tested for HIV-1 RNA and HBsAg and also	HIV-1 RNA nor HBsAg was detected in any of the group B tourniquets.	

(Continued)

TABLE 2 (Continued)

Author and year of publication	Aim	Study group	Materials and methods	Results	Implications for nursing practice
Rourke C. et al. (2001) (12)	Poor Hospital Infection Control Practice in Venipuncture and Use of Tourniquets	200 reusable tourniquets were obtained from a teaching hospital in Sheffield, UK	- An area of the tourniquet in contact with the patient's skin was pressed once onto a blood agar plate. - The plates were examined after 18 h of aerobic incubation at 37°C.	- <i>Staphylococcus aureus</i> was isolated from 10 /200 (5%) - 75/200 (37,5%) had visible blood stains - 99,5% tourniquets had <i>coagulase-negative staphylococci</i> and <i>micrococci</i> - Of those tourniquets testing positive for <i>Staphylococcus aureus</i>, 30% had visible blood stains.	It seems that more work should be conducted among staff at the facility where the study was conducted to increase awareness and implementation of the infection control policies and the benefits of hand washing and glove use.
Berman DS. et al. (1986) (4)	Tourniquets and nosocomial methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> infections	24 reusable tourniquets in use by the medical house staff and hospital phlebotomists	No data	- <i>Staphylococcus aureus</i> was found on 12/24 (50%) - 7/24 (29%) MRSA - 5/24 (21%) phage type 88	The writers suggest that tourniquets may be an important pathway of transmission of nosocomial pathogens, as they are transferred from arm to arm and ought to be changed or disinfected frequently.
Culjak M et al. (2018) (5)	Bacterial contamination of reusable venipuncture tourniquets in tertiary-care hospital	52 reusable tourniquets	- Samples were taken using soaked-in sterile saline swabs. - The entire surface of the tourniquets was swabbed, including the buckle. Tourniquets were left for further use, without interrupting usual ward routines.	- Coagulase-negative <i>Staphylococcus</i> spp. 46/52 (75%) - <i>Bacillus</i> spp. 5/52 (8%) - <i>Corynebacterium</i> spp. 1/52 (2%) - <i>Staphylococcus aureus</i> 1/52 (2%) - MRSA 2/52 (3%) - <i>Enterobacter</i> spp. 1/52 (2%) - <i>Enterococcus</i> spp. 1/52 (2%) - No bacterial growth 4/52 (6%)	Authors strongly advise the use of disposable tourniquets to avoid cross-contamination and the spread of microorganisms between patients. Moreover, the infection prevention nurse educated the hospital personnel on appropriate hand hygiene.

(Continued)

TABLE 2 (Continued)

Author and year of publication	Aim	Study group	Materials and methods	Results	Implications for nursing practice
Pinto A. N. et al. (2011) (13)	Reusable venesection tourniquets: a potential source of hospital transmission of multiresistant organisms.	100 reusable tourniquets	- Tourniquets were collected and immediately placed into polyethylene specimen bags, labelled, and transferred to the laboratory. - They were immersed in an enrichment medium and incubated overnight. - Fluid from the broth was then subcultured onto a variety of agar media: hore-blood agar, MacConkey agar, and selective agar media for the detection of MRSA, VRE, and resistant gram-negative bacteria including ESBL- and MBL-producing organisms.	- <i>Bacillus</i> spp. 54/100 (54%) - <i>Enterobacteriaceae</i> 26/100 (26%) - VRE 19/100 (19%) - <i>Pseudomonas</i> spp. 18/100 (18%) - methicillin-resistant <i>S. aureus</i> 14/100 (14%) - <i>Coagulase-negative. Staphylococci</i> 13/100 (13%) - <i>Enterococcus</i> spp. 9/100 (9%) - <i>methicilin-sensitive S. aureus</i> 1/100 (1%) - <i>Extended-spectrum β-lactamases</i> 1/100 (1%) - <i>Metallo-β-lactames</i> 1/100 (1%)	With the present high incidence rates of MRO, continued use of reusable tourniquets may not be justified in the hospital setting.
Hensley D. M. et al. (2010) (6)	<i>Acinetobacter baumannii</i> and MRSA contamination on reusable phlebotomy tourniquets.	200 reusable tourniquets	100 reusable tourniquets were collected after being used for 1 day in the outpatient blood collection center and were cultured, and growth was screened for MRSA using colonial morphology, catalase, Staphaurex, and Oxacillin screening agar.	- <i>Acinetobacter baumannii</i> was isolated from 11/100 (11%) - <i>Methicillin-susceptible S. aureus</i> was isolated from 2/100 (2%)	Reusable tourniquets might serve as a potential reservoir of microbial pathogens.
			100 reusable tourniquets were collected during morning blood collection rounds on inpatient wards and methods of screening for MRO were the same as in the first group.	- <i>Acinetobacter baumannii</i> was isolated from 3/100 (3%) - <i>Methicillin-susceptible S. aureus</i> was isolated from 3/100 (3%) - No MRSA was isolated.	
Abeywickrama T. et al. (2018) (14)	Methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> contamination of phlebotomy tourniquets and faucets.	206 reusable tourniquets	Using aseptic techniques these tourniquets were incubated overnight at 37°C in brain heart infusion broth. 200 μ L of broth was subcultured onto CGROMagar MRSA medium and processed according to the manufacturer's instructions.	53/206 (25,7%) tourniquets grew MRSA.	Single-use (i.e., throw away after a single use) plastic tubing from new infusion sets was significantly less contaminated with MRSA than either reused plastic tourniquets or reused tourniquets intended for a single patient. General standard hand hygiene practices need to be built into the assessment of healthcare workers in hospitals to minimise MRSA cross-contamination.

(Continued)

TABLE 2 (Continued)

Author and year of publication	Aim	Study group	Materials and methods	Results	Implications for nursing practice
Franklin G. F. et al. (2017) (15)	Phlebotomy tourniquets and MRSA	50 reusable tourniquets	The tourniquets were taken to the laboratory in sterile bags and treated with a sterile technique. The plastic or metal clip was discarded and the entire band was dipped into 150 mL of brain heart infusion broth. After overnight incubation, 200 mL of broth was cultured on an Oxacillin Resistance Screening Agar Base (ORSAB) plate. The plate was incubated for 24 h and tested for the presence of dark blue colonies, presumed to be identified as MRSA.	33/50 (66%) tourniquets were soiled 4/50 (8%) tourniquets were visibly blood stained 5/50 (50%) tourniquets grew MRSA	This study confirms the presence of MRSA on reusable tourniquets and demonstrates the prolonged use and inadequate cleaning of these essential pieces of equipment. The authors recommend that single-use alternatives should not be rejected without consideration.
de Oliveira Batista KC et al. (2015) (16)	Contamination of tourniquets for peripheral intravenous puncture	18 reusable tourniquets	At the laboratory, tourniquets were immersed in single flasks of BHI (brain heart infusion) broth and incubated at 35°C for up to 48 h. Samples with microbial growth were inoculated onto salted mannitol agar and tryptic soy agar with 4% NaCl. They were then incubated at 35°C for up to 48 h. TSA oxa medium was used to isolate and identify oxacillin-resistant strains.	- 11/50 (52,4%) <i>coagulase-negative Staphylococcus</i> - 2/50 (9,5%) <i>S. aureus</i> - 4/50 (19%) <i>Rodothorula mucraginosa</i> - 3/50 (14,3%) <i>Candida</i> - 1/50 (4,8%) <i>Candida parapsilosis</i>	The results of this study demonstrate that IV tourniquets are widely used by nursing teams and may be contaminated with pathogenic microorganisms that operate as fomites in healthcare environments.
Kane L. et al. (2011) (17)	Phlebotomy tourniquets-vectors for bacterial pathogens	10 tourniquets	Tourniquets were swabbed. Samples were applied to McConkey agar and blood plates, incubated for 48 h, and assessed for bacterial growth.	- 3/10 tourniquet were positive with MRSA Pathogens like <i>coagulase negative staphylococci</i> , <i>micrococci</i> , β - <i>haemolytic streptococci</i> , <i>coliform colonies</i> were also present in unspecified quantities.	Tourniquets for use in phlebotomy are potential vectors for bacterial pathogens. Clinical facilities should provide disposable tourniquets and promote good infection control practices through education and meticulous hand hygiene to reduce the risk of microbial spread. Staff motivation and compliance with single-use alternatives are significant barriers to reducing cross-infection.

Discussion

This systematic review of 13 articles summarized the evidence from basic research, epidemiological, and clinical treatment studies of the association between MROs and the use of reusable tourniquets by medical personnel. A previously published research by Pinto et al. primarily focused on the highest rates of multi-resistant organisms in single-patient tourniquets used in intensive care units. In this systematic review, we describe basic research studies on every type of ward in a hospital (13). Evidence suggests that reusable tourniquets may serve as a potential reservoir of bacterial microorganisms in a diverse range of healthcare settings (6, 9). Using disposable tourniquets in hospitals is unpopular; this may be due to the convenience of staff using reusable stasis and a matter of habit. In the study conducted by Grohmann et al., it was shown that there was significantly less bacteria on silicone than on conventional tourniquets. The use of a silicone tourniquet is a more secure, sustainable, and economical alternative to tourniquets made of other materials (1). It is also worth considering if the longer time a patient stays in hospital due to several infections caused by pathogens is better than using disposable tourniquets, which may prevent the spread of infections. Hospital-acquired infections can lead to increased length of stay and higher costs (18). According to US estimates, the cost of a single episode of MRSA bacteraemia is US\$26,446, meaning that one episode corresponds to the cost of at least 130,000 disposable tourniquets, considering that a disposable tourniquet costs £ 0.07, according to UK cost estimates quoted by Leitch et al. (11, 19). It is also interesting to explore if pathogens from tourniquets may contribute to infections within the IV. Disposable tourniquets are ideal, but as long as reusable tourniquets are used for various reasons, adequate infection prevention is required. Kerstain et al. recommended the use of disposable tourniquets, claiming that, taking into account the cost of hospital-acquired infections and the length of time a patient stays in the hospital due to infection, it is more cost-effective to reduce infection transmission to patients by the use of disposable tourniquets (20). Contamination of tourniquets depends on the hospital as a whole. Poor hygiene in combination with the careless use of tourniquets makes them a source of hospital-acquired infections. (2). Kerstain et al. found that disposable tourniquets are favored by patients and phlebotomists for their convenience and practicality (20). Using single-use devices for blood sampling and drawing is proposed by the *WHO Guidelines on Drawing Blood: Best Practices in Phlebotomy* (7). Compression tourniquets, as nursing medical devices, should be stored and managed with greater care to limit negative effects on patients. Steps to be taken should include adopting protocols, educating staff, and providing stasis disinfection between uses (21). A study by Schauer et al. demonstrated that the quantitative risk of reusable tourniquets appears to be low using standard infection control practices (22). Regular supervision and rules for sterilization or disinfection of tourniquets are advised in the Infection Control program to reduce hospital-acquired infections. (23).

National guidance on the use and cleaning of venipuncture tourniquets is recommended (24).

Limitations

Some important scientific research was left out of the search and selection process due to the nature of the publication date (research since 1986) and language (English). Tests have been carried out in different regions, so the cultural aspect and general hospital policy environment in the country should be taken into account. It is

necessary to mention the methodological limitations of the systematic review, including inherent biases that include selection, different quantitative sampling based on unspecified reusable tourniquet methods, various locations for collecting materials, miscellaneous infection control policies in medical facilities, and effective enforcement of glove and hand hygiene. Furthermore, internal validity was achieved in this study as there was no bias in the study design, analysis, and how the study was conducted. To ensure the internal validity of the study, the selection of tourniquets was randomized and we followed specific procedures during the study. There were limitations in that generalization to external validation was not possible.

Conclusion

Patient well-being may be at risk due to the high level of proportional observation based on the number of sampled contamination of reusable tourniquets. The micro-organisms responsible for this contamination belong to different species, the most common being the genus *Staphylococcus*. For this reason, we suggest the use of disposable tourniquets.

Implications for practice

The review identified weaknesses in the use of reusable tourniquets in medical settings. Safely collecting blood using tourniquets that will not threaten the patient's safety should be a priority even if it is challenging for medical facilities, which should focus on the adoption of clear rules of conduct. In practice, more emphasis should be placed on monitoring the epidemiological status of reusable tourniquets in medical facilities.

Author's Note

The article was written as part of the Journal Club Nursing project at the Medical University of Gdańsk.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Author contributions

JS: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Software, Writing – original draft. MM: Conceptualization, Data curation, Writing – original draft. WM-D: Conceptualization, Methodology, Visualization, Writing – review & editing.

Funding

The author(s) declare financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article. The publication

fee was financed by the Medical University of Gdańsk from the “Excellence Initiative - Research University” Program.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

References

- Grohmann M, Schomakers L, Wolschendorf F, Grosch J, Lindner S, Witte AK. Reduced bacterial contamination rates detected on silicone tourniquets compared to conventional tourniquets in clinical routine. *BMC Infect Dis.* (2020) 20:247. doi: 10.1186/s12879-020-04975-y
- Salgueiro-Oliveira A, Oliveira V, Costa P, Gama F, Graveto J, Parreira P, et al. Tourniquets used in peripheral venipuncture as a potential vehicle for transmission of microorganisms: scoping review. *Infectio.* (2020) 24:92–7. doi: 10.22354/in.v24i2.839
- Golder M, Chan CL, O'Shea S, Corbett K, Chrystie IL, French G. Potential risk of cross-infection during peripheral-venous access by contamination of tourniquets. *Lancet.* (2000) 355:44. doi: 10.1016/s0140-6736(99)04051-9
- Berman DS, Schaeffer S, Simberkoff MS, Rahal JJ. Tourniquets and nosocomial methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections. *N Engl J Med.* (1986) 315:514–5. doi: 10.1056/NEJM198608213150812
- Culjak M, Gveric Grginic A, Simundic AM. Bacterial contamination of reusable venipuncture tourniquets in tertiary-care hospital. *Clin Chem Lab Med.* (2018) 56:e201–3. doi: 10.1515/cclm-2017-0994
- Hensley DM, Krauland KJ, McGlasson DL. Acinetobacter baumannii and MRSA contamination on reusable phlebotomy tourniquets. *Clin Lab Sci.* (2010) 23:151–6. doi: 10.29074/ascls.23.3.151
- Dhingra N, Diepart M. WHO guidelines on drawing blood: Best practices in phlebotomy. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599221> (Accessed May 15, 2023).
- Aromataris E, Fernandez R, Godfrey C, Holly C, Khalil H, Tungpunkom P. The Joanna Briggs institute reviewers' manual 2014 methodology for JBI umbrella reviews. The Joanna Briggs Institute: Adelaide, Australia (2014).
- Elhassan HA, Dixon T. MRSA contaminated venepuncture tourniquets in clinical practice. *Postgrad Med J.* (2012) 88:194–7. doi: 10.1136/postgradmedj-2011-130411
- Mehmood Z, Mubeen SM, Afzal MS, Hussain Z. Potential risk of cross-infection by tourniquets: a need for effective control practices in Pakistan. *Int J Prev Med.* (2014) 5:1119–24.
- Leitch A, McCormick I, Gunn I, Gillespie T. Reducing the potential for phlebotomy tourniquets to act as a reservoir for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Hosp Infect.* (2006) 63:428–31. doi: 10.1016/j.jhin.2006.03.006
- Rourke C, Bates C, Read RC. Poor hospital infection control practice in Venepuncture and use of tourniquets. *J Hosp Infect.* (2001) 49:59–61. doi: 10.1053/jhin.2001.1038
- Pinto AN, Phan T, Sala G, Cheong EY, Siarakas S, Gottlieb T. Reusable venesection tourniquets: a potential source of hospital transmission of multiresistant organisms. *Med J Aust.* (2011) 195:276–9. doi: 10.5694/mja11.10333
- Abeywickrama T, Amarasinghe K, Wijerathne S, Dharmaratne C, Fernando D, Senaratna BC, et al. Methicillin resistant *Staphylococcus aureus* contamination of phlebotomy tourniquets and faucets. *Ceylon Med J.* (2018) 63:5–10. doi: 10.4038/cmj.v63i1.8627
- Franklin GF, Bal AM, McKenzie H. Phlebotomy tourniquets and MRSA. *J Hosp Infect.* (2007) 65:173–5. doi: 10.1016/j.jhin.2006.10.010
- Batista KCO, Tipple AFV, Leão-Vasconcelos LSNO, Ribeiro EL, Prado MA. Contamination of tourniquets for peripheral intravenous puncture. *Acta Paulista Enfermagem.* (2015) 28:426–32. doi: 10.1590/1982-0194201500072
- Kane L, Krischock L, Lucas C. Phlebotomy tourniquets- vectors for bacterial pathogens. *Arch Dis Child.* (2011) 96:A47–8. doi: 10.1136/adc.2011.212563.105
- Spelman DW. 2: hospital acquired infection. *Med J Aust.* (2002) 176:286–91. doi: 10.5694/j.1326-5377.2002.tb04412.x
- Abramson MA, Sexton DJ. Nosocomial methicillin-resistant and methicillin-susceptible *Staphylococcus aureus* primary bacteremia: at what costs? *Infect Control Hosp Epidemiol.* (1999) 20:408–11. doi: 10.1086/501641
- Kerstain R, Fellowes C. Novel fit for purpose single use tourniquet: best of both worlds. *J Med Eng Technol.* (2009) 33:475–80. doi: 10.1080/03091900902952667
- Pădureț G, Primosa F, Bujdos MJ, Artioli G, Sarli L, La Sala R, et al. The nursing Management of Tourniquet: the infective risk related to its use. *Acta Biomed.* (2021) 92:e2021361. doi: 10.23750/abm.v92iS2.12190
- Schauer CK, Hammer DA. Quantifying patient bacterial exposure risk from reusable phlebotomy tourniquets in a New Zealand secondary level hospital. *J Infect Prev.* (2015) 16:262–5. doi: 10.1177/1757177415600242
- Kalyani CS, Koripella R, Valli SKN. Isolation of potentially pathogenic Bacteria from reusable venesection tourniquets in a tertiary care hospital. *Int J Curr Microbiol App Sci.* (2016) 5:153–7. doi: 10.20546/ijcmas.2016.505.016
- Petersen ERB, Nybo M. Hygiene of venepuncture tourniquets in Denmark, Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation. *Scand J Clin Lab Invest.* (2018) 78:417–20. doi: 10.1080/00365513.2018.1480799

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym druk i umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

JULIA SZYMCZYK | WIOLETTA MĘDRZYCKA-DĄBROWSKA

WIELORAZOWE STAZY: WYZWANIA, BEZPIECZEŃSTWO I POTRZEBA ZMIAN W PRAKTYCE KLINICZNEJ

REUSABLE STASIS: CHALLENGES, SAFETY AND THE NEED FOR CHANGE IN CLINICAL PRACTICE

ORCID*: 0000-0001-8377-4893 | 0000-0001-9728-5011

STRESZCZENIE: Staza jest kluczowym narzędziem stosowanym przez personel medyczny w celu uzyskania dostępu naczyniowego. Najczęściej używane stazy wielorazowe wymagają odpowiedniego czyszczenia, jednak brak jednoznacznych wytycznych w tym zakresie zwiększa ryzyko zakażeń. Alternatywą są stazy jednorazowe, które eliminują konieczność dezynfekcji, ale generują większe ilości odpadów plastikowych. Analiza informacji dostępnych na stronach producentów wykazała, że większość staz wielorazowych nie posiada jasno określonych zaleceń dotyczących dezynfekcji. W praktyce klinicznej istnieje także ryzyko wielokrotnego użycia staz jednorazowych, co dodatkowo zwiększa zagrożenie epidemiologiczne. Ograniczona dostępność sprzętu oraz brak procedur w wielu placówkach medycznych stanowią istotne wyzwania dla systemu ochrony zdrowia. Sektor epidemiologiczny oraz działy zarządzające w placówkach medycznych powinny aktywnie wdrażać procedury dotyczące stosowania i czyszczenia staz, a także monitorować ich przestrzeganie. Konieczne są inwestycje w bezpieczny sprzęt, edukacja personelu oraz badania nad optymalnymi rozwiązaniami, które uwzględnią zarówno bezpieczeństwo pacjentów, jak i aspekty ekologiczne.

Zakład Pielęgniarstwa Anestezjologicznego
i Intensywnej Opieki,
Gdański Uniwersytet Medyczny

✉ JULIA SZYMCZYK

Zakład Pielęgniarstwa Anestezjologicznego
i Intensywnej Opieki,
Wydział Nauk o Zdrowiu,
Gdański Uniwersytet Medyczny,
ul. M. Skłodowskiej-Curie 3a,
80-210 Gdańsk
e-mail: szymczykjulia@gumed.edu.pl

Wpłynęło: 30.03.2025

Zaakceptowano: 04.04.2025

DOI: [dx.doi.org/10.15374/PwAiO2024021](https://doi.org/10.15374/PwAiO2024021)

*według kolejności na liście Autorów

SŁOWA KLUCZOWE: monitorowanie epidemiologiczne, opaski uciskowe, zakażenia krzyżowe

ABSTRACT: Tourniquet is a key tool medical professionals rely on to gain vascular access. The most commonly used reusable tourniquet requires proper cleaning; however, lack of clear guidelines in this regard increases the risk of infection. Disposable tourniquets provide an alternative, as they eliminate the need for disinfection, although they generate more plastic waste. An analysis of the information available on manufacturers' websites demonstrated that most reusable tourniquets do not have clearly defined disinfection recommendations. Furthermore, there is a risk of multiple use of disposable tourniquets in clinical practice, which additionally increases the epidemiological risk. Limited availability of equipment and lack of procedures in numerous medical facilities pose significant challenges for the health care system. The epidemiological sector and management departments in healthcare facilities should actively implement procedures for the use and cleaning of tourniquets, as well as monitor their compliance. It is essential to ensure investment in safe equipment, staff education and research into optimal solutions in terms of both patient safety and ecological aspects.

KEY WORDS: cross infection, epidemiological monitoring, tourniquets

WSTĘP

Staza to elastyczna opaska umożliwiająca uwidocznienie żyły przed uzyskaniem dostępu naczyniowego. Dostęp naczyniowy obejmuje zarówno miejsce wprowadzenia kaniuli, jak i miejsce iniekcji, wykorzystywane do pobierania materiału na badania laboratoryjne czy podawania leków drogą dożylną. Uprawnienia do pobierania materiału biologicznego posiadają

m.in. personel pielęgniarski, lekarze z odpowiednimi kwalifikacjami, diagnosty laboratoryjni, analitycy medyczni, położne oraz ratownicy medyczni [1]. Staza jest zatem podstawowym narzędziem wielu profesji medycznych, bez którego niemożliwe byłoby wykonanie podstawowych czynności klinicznych.

Najczęściej spotykane są stazy wielorazowego użytku, wykonane z porowatego materiału. Brak precyzyjnych wytycznych dotyczących ich czyszczenia między pacjentami może

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym druk i umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

prowadzić do zwiększenia ryzyka zakażeń, w tym zakażeń w miejscu wkłucia. Dystrybutorzy sprzętu medycznego podają informację o dezynfekcji chusteczkami, praniu chemicznym i autoklawowaniu. Natomiast żadna z tych metod nie jest na tyle optymalna czasowo i efektywna, żeby była stosowana w środowisku medycznym (Ryc. 1). Z kolei stazy jednorazowego użytku eliminują konieczność czyszczenia, jednak generują inne wyzwania, takie jak wzrost produkcji odpadów z tworzyw sztucznych i ich wpływ na środowisko (Ryc. 2) [2].

Celem niniejszego badania była ocena dostępności informacji na temat czyszczenia staz dostępnych na rynku – zarówno wielorazowych, jak i jednorazowych.

METODY I METODY

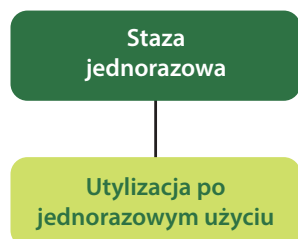
Przegląd przeprowadzono zgodnie z wytycznymi Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Wyszukiwanie informacji odbyło się na stronach internetowych producentów i dystrybutorów, a proces selekcji obejmował identyfikację, przesiewanie i włączanie źródeł zgodnie z ustalonymi kryteriami.

STRATEGIA WYSZUKIWANIA

Wyszukiwanie przeprowadzono w okresie od listopada 2024 r. do stycznia 2025 r. w Gdańsku, wykorzystując kombinację słów kluczowych: stazy wielorazowe OR stazy



Ryc. 1. Metody czyszczenia staz wielorazowych.



Ryc. 2. Postępowanie ze stazą jednorazową.

jednorazowe AND dezynfekcja OR zalecenia producentów OR specyfikacja produktu. Uwzględniono wyłącznie strony producentów i dystrybutorów, a kryterium językowym była dostępność informacji w języku polskim.

SELEKCJA ŹRÓDEŁ

Proces selekcji opierał się na metodzie podwójnej oceny przeprowadzonej przez niezależnych recenzentów. W pierwszym etapie dokonano wstępnej identyfikacji źródeł, a następnie poddano je szczegółowej ocenie pod kątem spełniania kryteriów włączenia.

EKSTRAKCCJA I ANALIZA DANYCH

Analiza obejmowała metody czyszczenia, zalecenia producenta oraz specyfikację produktu, jednak nie stosowano standaryzowanego formularza ekstrakcji danych. Informacje zostały porównane i poddane krytycznej ocenie w celu wyeliminowania niejednoznaczności i niespójności.

OCENA JAKOŚCI DANYCH

Ostateczna ocena jakości informacji opierała się na możliwości zamówienia danego sprzętu z analizowanych domen. Strony internetowe oceniano pod kątem dostępności informacji, ich aktualności oraz przejrzystości przedstawionych danych.

OGRANICZENIA BADANIA

Przegląd ograniczono do stron internetowych producentów i dystrybutorów, co mogło wpłynąć na zakres dostępnych informacji. Analizie poddano wyłącznie źródła w języku polskim, co mogło skutkować pominięciem istotnych danych z zagranicznych publikacji lub stron internetowych. Ponadto uwzględniono jedynie informacje dostępne w okresie wyszukiwania (listopad 2024 – styczeń 2025), co oznacza, że późniejsze aktualizacje stron mogły nie zostać ujęte w badaniu. Brak standaryzowanego formularza ekstrakcji danych mógł wpłynąć na różnice w interpretacji poszczególnych informacji przez recenzentów.

WYNIKI

Uzyskane dane z 11 domen internetowych wskazują, że informacje dotyczące czyszczenia wielorazowych staz są niewystarczające. Zdecydowana większość staz dostępnych na rynku nie posiada sprecyzowanych zaleceń producenta

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym druk i umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

w zakresie sterylizacji czy dezynfekcji. Pojawiają się hasła, takie jak sterylizacja, pranie, namaczanie w środkach dezynfekcyjnych, stosowanie chusteczek do dezynfekcji – żadna z tych metod nie jest optymalna czasowo oraz skuteczna. Nie istnieje jedna zalecana metoda dezynfekcji wielorazowych staz. Może to rodzić wątpliwości co do bezpieczeństwa ich stosowania w jednostkach medycznych, gdzie kluczowe jest minimalizowanie ryzyka zakażeń.

DYSKUSJA

WYBÓR ODPOWIEDNIEJ STAZY

Z możliwych opcji najlepszym rozwiązaniem jest korzystanie ze staz jednorazowych. Na chwilę obecną informacje dostępne w domenach internetowych nie są wystarczające, by w sposób bezpieczny korzystać z wielorazowych staz. Są one nośnikami mikroorganizmów, m.in. *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Acinetobacter* spp. [3]. W badaniach Zhang i wsp. oraz Choudhury i wsp. zbadano, że te same drobnoustroje powodują zakażenia odcewninkowe [4, 5]. Postawiono pytanie, czy mikroorganizmy ze staz mogą przyczyniać się do zakażeń związanych z kaniulą obwodową.

STAZY JEDNORAZOWE

W przypadku staz jednorazowych ich stosowanie eliminuje konieczność czyszczenia, ponieważ każda staza jest przeznaczona do jednorazowego użycia (Ryc. 2). Jednak wyzwaniem pozostaje właściwe użytkowanie zgodne z zaleceniami producenta. W praktyce istnieje ryzyko, że personel medyczny, w celu ograniczenia kosztów lub z innych powodów, wykorzysta jednorazowe stazy wielokrotnie, co może prowadzić do podobnych zagrożeń jak w przypadku staz wielorazowych. Dodatkowym problemem związanym ze stazami jednorazowymi jest ich wpływ na środowisko. Produkcja i utylizacja plastikowych materiałów użytych do ich wytwarzania przyczyniają się do generowania odpadów i zanieczyszczenia środowiska [2].

METODY DEZYNFEKCJI

Co więcej, dostępność odpowiedniego sprzętu – zarówno staz jednorazowych, jak i odpowiednio zaprojektowanych staz wielorazowych wraz z instrukcjami dotyczącymi ich dezynfekcji – jest często ograniczona. W wielu jednostkach leczniczych brak jest wystarczającego zaplecza technicznego, co wymusza korzystanie z niewłaściwych lub

Tabela 1. Porównanie informacji z domen internetowych dot. sposobu czyszczenia staz wielorazowych i jednorazowych.

Źródło danych	Rodzaj materiału	Sposób czyszczenia	Czas	Certyfikat
Staza wielorazowa				
Staza uciskowa automatyczna HS-403A, kod produktu: 962281 [6]	brak informacji	autoklawowanie do 121°C	brak informacji	wyrób medyczny
Riester Ri-clip Staza-5000 Ri-clip z lateksem, kod produktu: TOW007639 [7]	tworzywo sztuczne	sterylizacji (120° C/1 bar)	brak informacji	wyrób medyczny
Opaska uciskowa staza automatyczna sarstedt, kod produktu: 95.1007 [8]	PA (poliamid)	brak informacji	brak informacji	wyrób medyczny
Staza automatyczna do pobierania krwi [9]	brak informacji	brak informacji	brak informacji	ISO 13485
Staza opaska uciskowa [10]	gumka z terylenu	brak informacji	brak informacji	brak informacji
Staza medyczna automatyczna, opaska zaciskowa [11]	brak informacji	brak informacji	brak informacji	wyrób medyczny
HS-403A, Staza autometyczna firmy biomedico mode cdr-akc-stazaa [12]	brak informacji	brak informacji	brak informacji	brak informacji
Daisygrip [13]	„daisygrip”	spray lub chusteczki do płaskich powierzchni (producent nie podał składu)	30 sekund	brak informacji
Staza jednorazowa				
Bezlatekowa staza do pobierania krwi [14]	materiału TPE (termoplastycznego elastomeru)	jednorazowego użytku	jednorazowego użytku	wyrób medyczny
Jednorazowa opaska uciskowa staza automatyczna sarstedt [15]	materiał: kompozyt papier/plastik (nie zawiera lateksu)	jednorazowego użytku	jednorazowego użytku	wyrób medyczny
kod produktu: 19203 [16]	termoplastycznego elastomeru TPE	jednorazowego użytku	jednorazowego użytku	brak informacji

* ISO 13485, to międzynarodowa norma dla wyrobów medycznych, definiująca wymagania w zakresie systemów zarządzania jakością. Każdy element zestawu posiada kompletne i ważne certyfikaty CE, które zostały przedłożone w Urzędzie Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych.

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym druk i umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

potencjalnie niebezpiecznych rozwiązań. Sterylizacja wielorazowych staz po każdym użyciu jest czasochłonna, a producenci podkreślają, że zbyt wysoka temperatura autoklawu może zniekształcić plastikowe części stazy. Inną metodą czyszczenia jest spryskiwanie wielorazowych staz środkiem dezynfekującym – również w tym przypadku nie jest to rozwiązanie efektywne czasowo, brak jest odpowiedniego miejsca do wyschnięcia, a rozprowadzenie dezynfektantu może być nierównomierne. Kolejnym sposobem jest przecieranie wielorazowych staz chusteczkami dezynfekującymi, co jest nieefektywne ze względu na materiałową strukturę stazy. Nie ma zatem jednej właściwej metody dezynfekcji, która pozwoliłaby na prawidłowe korzystanie z wielorazowego sprzętu (Tabela 1). Sytuacja ta wymaga aktywnej interwencji ze strony zarządzających placówkami medycznymi oraz działów epidemiologicznych, które powinny wprowadzać odpowiednie zmiany w zakresie organizacji pracy i zaopatrzenia w bezpieczny sprzęt. Działy epidemiologiczne powinny opracowywać i wdrażać procedury dotyczące stosowania i czyszczenia staz, a także monitorować ich przestrzeganie przez personel medyczny. Niezbędne są także inwestycje w dostępność staz jednorazowych oraz edukacja personelu na temat właściwego korzystania z tego sprzętu zgodnie z zaleceniami producentów.

WNIOSKI

Dostępne informacje na temat czyszczenia staz wielorazowych są niewystarczające, co uniemożliwia opracowanie precyzyjnych procedur w tym zakresie. Dodatkowo brak odpowiedniego sprzętu w wielu placówkach oraz brak jasno sprecyzowanych wytycznych zwiększają ryzyko zakażeń i narażają bezpieczeństwo pacjentów. Konieczne jest pogłębienie badań dotyczących bezpieczeństwa stosowania tego rodzaju sprzętu medycznego, z uwzględnieniem zarówno aspektów klinicznych, jak i ekologicznych. Zarządzający placówkami medycznymi oraz działy epidemiologiczne muszą wprowadzać odpowiednie zmiany organizacyjne i technologiczne, aby zapewnić bezpieczeństwo pacjentów oraz personelu.

PIŚMIENNICTWO

1. GOV. Komunikat w sprawie uprawnień do pobierania od pacjenta materiału biologicznego do badań laboratoryjnych. (online) 2024;[download: 30.03.2025]; <https://www.gov.pl/web/zdrowie/komunikat-w-sprawie-uprawnien-do-pobierania-od-pacjenta-materialu-biologicznego-do-badan-laboratoryjnych>
2. Nash C, Nelson J. Reusable tourniquets: their impact on patients, planet and public purse. *Nursing Times* 2024;120:8.
3. Natarajan A, Das S, Chaudhary N. Microbial profile of tourniquets used in phlebotomy at a rural tertiary care teaching hospital. *Cureus* 2023;15(11):e49328. doi: 10.7759/cureus.49328.
4. Zhang L, Cao S, Marsh N et al. Infection risks associated with peripheral vascular catheters. *J Infect Prev* 2016;17(5):207–213. doi: 10.1177/175177416655472.
5. Choudhury MA, Marsh N, Banu S, Paterson DL, Rickard CM, McMillan DJ. Molecular comparison of bacterial communities on peripheral intravenous catheters and matched skin swabs. *PLoS One* 2016;11(1):e0146354. doi: 10.1371/journal.pone.0146354.
6. Staza uciskowa automatyczna HS-403A. dla pacjenta (online) 2025;[download: 30.03.2025]; <https://dlapacjenta.pl/staza-uciskowa-automatyczna-hs-403a.html>
7. RIESTER RI CLIP 5000 Opaska uciskowa z lateksem, sterylizacja 120°C, tworzywo sztuczne. MEDNOVA (online) 2025;[download: 30.03.2025]; https://mednova.pl/riester-ri-clip-staza-5000-ri-clip-z-lateksem-8949/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyo60BhEiwAHmVLJWwTHzB90SWILP3E4Htzmsrtmflm71qQKGClkKilwFUze9DWZbGQBoCf4AQAvD_BwE
8. Opaska uciskowa staza automatyczna Sarstedt 1 szt. Ice-med (online) 2025;[download: 30.03.2025]; https://www.ice4med.pl/1926-opaska-uciskowa-staza-automatyczna-sarstedt-1-szt?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyo60BhEiwAHmVLJadVE7UOc9EVYw5mJwalbdh5RIwTj_omb7LRRgYl-N8UZtNqq49i-ERoCRPQAvD_BwE
9. Staza automatyczna do pobierania krwi. KeyMed (online) 2025;[download: 30.03.2025]; <https://keymedpolska.pl/produkt/staza-automatyczna-do-pobierania-krwi/>
10. Staza opaska uciskowa czerwona. Medwil (online) 2025;[download: 30.03.2025]; <https://medwil.pl/pl/p/Staza-opaska-uciskowa-czerwona/3518>
11. Staza medyczna automatyczna, opaska zaciskowa. MedycznyStore (online) 2025;[download: 30.03.2025]; <https://medyczny.store/strzykawki-igly-i-ost-rza-chirurgiczne/292-staza-medyczna-automatyczna-opaska-zaciskowa.html>
12. Staza automatyczna [Kolory]. Biomedico (online) 2025; [download: 30.03.2025]; <https://sklep.biomedico.pl/produkt/staza-automatyczna-rozne-kolory/>
13. Der erste abwischbare Stauschlauch. Daisy grip (online) 2025; [download: 30.03.2025]; <https://www.daisygrip.de/de/home>
14. Bezłatekowa staza do pobierania krwi, 25 szt. Matopat24 (online) 2025;[download: 30.03.2025]; https://www.matopat24.pl/bezłatekowa-staza-do-pobierania-krwi-25-szt_14358-21157
15. Jednorazowa opaska uciskowa staza automatyczna Sarstedt 200 szt. Ice-med (online) 2025;[download: 30.03.2025]; <https://www.ice4med.pl/1928-jednorazowa-opaska-uciskowa-staza-automatyczna-sarstedt-200-szt>
16. Staza bezłatekowa do uciskania żyły podczas pobierania krwi. Dina-hitex (online) 2025; [download: 30.03.2025]; <https://www.dina-hitex.pl/strona-glowna/364-staza-do-uciskania-zyly-podczas-pobierania-krwi.html>

KONFLIKT INTERESÓW: nie zgłoszono.



Article

Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis

Julia Szymczyk ¹, Monika Kurpas ² , Bartosz Krasinski ³, Katarzyna Zorena ² and Wioletta Mędrzycka-Dąbrowska ^{1,*}

¹ Division of Anaesthesiology Nursing & Intensive Care, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdansk, 80-211 Gdansk, Poland; juliaszymczak@gumed.edu.pl

² Division of Immunobiology and Environmental Microbiology, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdansk, 80-211 Gdansk, Poland; monika.kurpas@gumed.edu.pl (M.K.); katarzyna.zorena@gumed.edu.pl (K.Z.)

³ Emergency Department, Health Care Entity Copernicus Sp. z o. o., 80-462 Gdansk, Poland; wiomed@wp.pl

* Correspondence: wioletta.medrzycka@gumed.edu.pl

Abstract: Introduction: Healthcare-associated infections (HAIs) pose a significant global challenge, resulting in prolonged hospital stays, higher healthcare costs, and increased morbidity and mortality rates. Reusable medical equipment, such as tourniquets, represents a potential vector for infection transmission. Despite frequent use and close contact with patients' skin, infection control protocols often overlook these devices. This study examines microbial contamination on the surface of reusable tourniquets in both emergency department and operating theatre settings. Methods: A cross-sectional study was conducted between March and September 2024 in Gdansk, Poland. Samples from tourniquets used in the emergency department and the operating theatre were collected after an indefinite period, 14 days, and 28 days. Bacterial contamination on the surfaces of the tourniquets was measured using Columbia agar blood medium and expressed as colony-forming units (CFUs) per cm². Results: Significant bacterial loads were detected on reusable tourniquets, with contamination levels varying by location and duration of use. The average number of CFU/cm² across all stages of this study was 545 CFU/cm² for the emergency department and 101 CFU/cm² for the operating theatre. Tourniquets used in the emergency department exhibited higher bacterial counts compared to those from the operating theatre, which showed a greater diversity of bacterial species. These findings underscore the need to revise infection control protocols for reusable tourniquets. Conclusion: This study provides critical data that may influence future policy changes aimed at reducing the risk of HAIs through the improved management of reusable medical devices.

Keywords: healthcare-associated infections (HAIs); reusable tourniquets; bacterial contamination; medical equipment disinfection; device-associated healthcare infections (DA-HCIs); hygiene in healthcare; catheter-related bloodstream infections (CRBSIs)



Academic Editor: Piotr B. Heczko

Received: 8 December 2024

Revised: 26 December 2024

Accepted: 8 January 2025

Published: 13 January 2025

Citation: Szymczyk, J.; Kurpas, M.; Krasinski, B.; Zorena, K.; Mędrzycka-Dąbrowska, W. Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis. *Microorganisms* **2025**, *13*, 152. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13010152>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Healthcare-associated infections (HAIs) represent a major public health concern worldwide, contributing to prolonged hospital stays, increased healthcare costs, and higher morbidity and mortality rates. It is estimated that millions of patients worldwide contract infections during their hospital stay, with many cases directly linked to contaminated medical equipment and inadequate hygiene practices. The World Health Organization (WHO) has identified nosocomial infections as a critical issue, urging healthcare providers to adopt stricter infection control measures and improve sterilization practices for medical devices [1]. In this context, reusable medical devices, such as stethoscopes, blood pressure

cuffs, and tourniquets, have attracted increasing attention due to their potential to transmit multidrug-resistant pathogens [2–6].

Among reusable devices, tourniquets are particularly prevalent in healthcare settings, used for intravenous (IV) cannulation, diagnostic test sample collection, and drug administration. Tourniquets, typically elastic bands, are applied to visualize veins before accessing the vascular system. For this purpose, the band is placed on the patient's limb, 10–15 cm above the intended insertion site. Despite their frequent use and direct contact with the patient's skin, reusable bands are often overlooked in infection control protocols [7]. Tourniquets are used across a wide range of patients, regardless of infection risk, and are seldom disinfected between uses, despite WHO and PTPI guidelines recommending that tourniquets and other non-critical items be either disposable or cleaned between uses [8,9].

Unlike surgical instruments, which are sterilized between patients, tourniquets are rarely, if ever cleaned, leading to the accumulation of contaminants over time. This practice poses a significant risk, especially in environments where immunocompromised patients are treated, such as intensive care units (ICUs) and oncology wards [10]. The transfer of microorganisms via reusable tourniquets may increase the risk of infection, leading to inflammation at the insertion site and exposing immunocompromised patients (Figure 1). Research by Perreira et al. has demonstrated that using disposable tourniquets can reduce complications related to peripheral intravenous cannula (PIVC) insertion [11].



Figure 1. Illustration of the microbial transmission pathway from a reusable tourniquet to a peripheral cannula.

Previous studies have identified various bacterial species on medical devices, including methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*—organisms known for their virulence and antibiotic resistance. However, most existing studies have focused on larger medical instruments and equipment, such as surgical and hospital beds, with limited attention given to smaller reusable devices such as tourniquets. Thompson et al. demonstrated high levels of bacterial contamination of reusable blood pressure cuffs, suggesting that frequency of use and proximity to patients' skin may be key factors in spreading bacteria on surfaces. This raises critical questions about whether reusable tourniquets with similar use patterns may also serve as reservoirs for bacterial transmission [12]. Tourniquets, often reused for many patients without proper cleaning, can contribute to the spread of these resistant organisms, undermining infection control efforts [13].

The purpose of this study was to compare microbial contamination on the surface of reusable tourniquets in emergency departments and operating theatres. The side aims were to investigate whether the type of office and the duration of use of the reusable tourniquet has an impact on the number of colony-forming units per cm².

2. Material and Methods

2.1. Study Design

This research was conducted as a cross-sectional study.

2.2. Settings

This study was conducted between March and September 2024 in one of the hospitals in Gdansk, Poland. The researchers followed the relevant legal regulations and the bioethics principles of the Declaration of Helsinki, paying due attention to the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) criteria [14]. This study received approval from the Independent Bioethics Committee for Research of the Medical University of Gdansk (approval number: KB/45/2024, 29 February 2024). This project was registered on [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) (NCT06566495).

2.3. Samples

It was assumed that a total of 48 tourniquets would be collected in all three stages (Figure 2). The main parameters in this study were the length of time the tourniquets were used by medical staff and the characteristics of the ward. This study used reusable tourniquets made of flexible material purchased from the same manufacturer and delivered in their original packaging to specific hospital units for regular use during vascular access fabrication in the anesthesiology and emergency departments. The study groups of tourniquets were defined as follows: tourniquets after an indefinite period of use (indefinite group), tourniquets after 14 days of use, and tourniquets after 28 days of use. Indefinite time refers to the tourniquet group we encountered in the hospital that did not have a specific time frame imposed as in the other groups of 14 days and 28 days. The group with an indefinite time served as the baseline for comparison with the other two groups. The time of use was chosen to avoid overextending the time of use and to determine whether doubling the time would be associated with a linear temporal accumulation of bacteria or whether the accumulation and generic composition of the bacteria was a stochastic process.

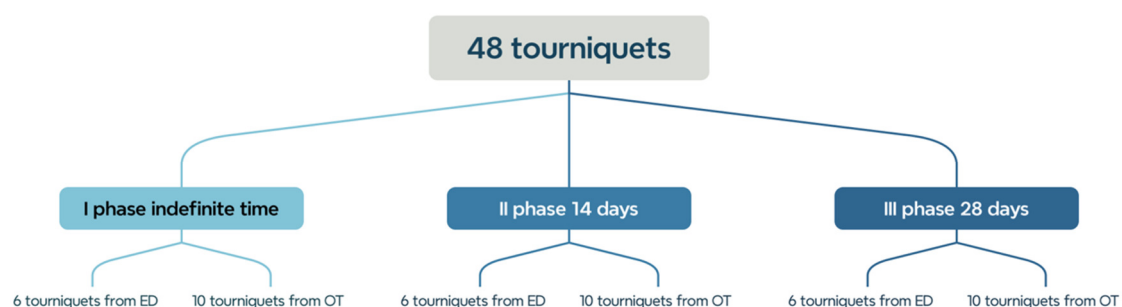


Figure 2. Diagram showing the stages of the study and the planned number of tourniquets.

2.4. Characteristics of Sampling Locations

The emergency ward comprises child and adult observation rooms, a pediatric office, and a resuscitation area. The operating theater performs procedures in general surgery, orthopedics, urology, gynecology, neurosurgery, and pediatrics. Another variable was how multiple tourniquets were handled by staff in the various departments. These ways included, but were not limited to, the frequency with which tourniquet procedures were performed, whether they were decontaminated after use, the type of disinfectant used for decontamination, and how the tourniquets were stored and transported to patients. Such variables may or may not have influenced the bacteriome's qualitative and/or quantitative composition. Still, the non-linearity of these variables, related to the circumstances of tourniquet use and the individual approach of the staff to their use, are factors that are

not subject to strict regulations and cannot be recorded under everyday conditions. In this study, we emphasized the specificity of the wards. Operating theatres are some of the most closely monitored rooms in terms of microbiological cleanliness and have limited access for staff and patients. The second choice was the emergency wards, which are characterized by the high dynamics of handling patients with various conditions, including mechanical injuries often associated with blood loss and differing levels of patient hygiene.

2.5. Collection of Material

Reusable tourniquets from the anesthesiology and emergency departments were collected in disposable, sterile bags. All the polyamide tourniquets tested were from the same manufacturer, which states in the product specification that the bandage should be sterilized at 80 degrees C. All tourniquets were labelled and assigned to different rooms within the wards examined. Tourniquets that were collected after the time of use were immediately packaged in sterile bags (Interscience BAGPAGE, Saint Nom la Bretèche, France) and transported at room temperature to the Department of Immunobiology and Environmental Microbiology at the Medical University of Gdansk for microbiological screening 3 h after collection of the tourniquets from the hospital wards. After each of the in-hospital stages of the study, the tourniquets were collected and replaced with new ones.

2.6. Enumeration of Microorganisms on Tourniquet Components

Biological material from the reusable tourniquet was analyzed separately for the plastic clasp and the fabric band. The study utilized only solid media for microbial culturing. Columbia agar plates supplemented with 5% sheep blood were used as the solid medium, providing a nutrient-rich environment that supports the growth of a wide range of microorganisms. Additionally, it allows for the observation of hemolysis, which can provide insights into certain microbial activities. Colony-forming units (CFUs) were counted on the agar plates after incubation, based on colony formation.

2.6.1. Plastic Claps

Study on Columbia Agar (Total Microbial Count)

Under laboratory conditions, the plastic parts of the tourniquets were cut off and placed in sterile dishes. Using sterile swabs soaked in 0.9% NaCl, samples were collected from the plastic surface and placed in a tube containing 3 mL of 0.9% NaCl. The tube was then shaken for 30 s using a vortex mixer (IKA-Werke, Staufen, Germany).

The resulting bacterial suspension was seeded onto Columbia agar supplemented with 5% sheep blood (GRASO Biotech, Owidz, Poland) in two forms: a concentrated suspension (200 µL) and a ten-fold diluted suspension (200 µL). The inoculated Columbia agar plates were incubated at 37 °C for 24 h under aerobic conditions. After incubation, the colonies were counted, and the results were expressed as colony-forming units (CFUs) for the entire surface of the clasp.

2.6.2. Fabric Band

Study on Columbia Agar (Total Microbial Count)

The material part of the tourniquet was placed in a sterile homogenization bag with 100 mL of nutrient broth. The contents of the bag were then homogenized in a BagMixer 400 CC stomacher (Interscience, Saint-Nom-la-Bretèche, France) for two minutes to detach the microorganisms from the porous surface of the material (Figure 3). The resulting homogenate from each sample was transferred in a concentrated form, and ten-fold and hundred-fold dilutions were prepared using 9 mL of nutrient broth for each dilution. Each dilution, as well as the concentrated homogenate, was then plated once onto the surface of the Columbia agar plates supplemented with 5% sheep blood. The inoculated

Columbia agar plates were incubated at 37 °C for 24 h under aerobic conditions. After incubation, the colonies were counted, and the results were expressed as colony-forming units (CFUs) per cm² of fabric band. (Figure 4). Outcome measures, e.g., bacterial growth, were assessed by counting the number of colonies on the Columbia agar plates. After incubation, the bacterial colonies were counted to determine the number of microorganisms on the surface of the tourniquet (expressed as CFU/cm²) or on the whole clamps in the case of plastic parts. Additionally, the optical density (OD) of the concentrated homogenate was measured using a spectrophotometer to evaluate the contamination level of the tourniquets.

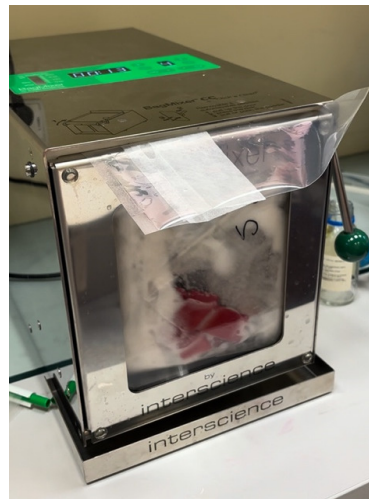


Figure 3. Homogenization process of the fabric part of the tourniquet.

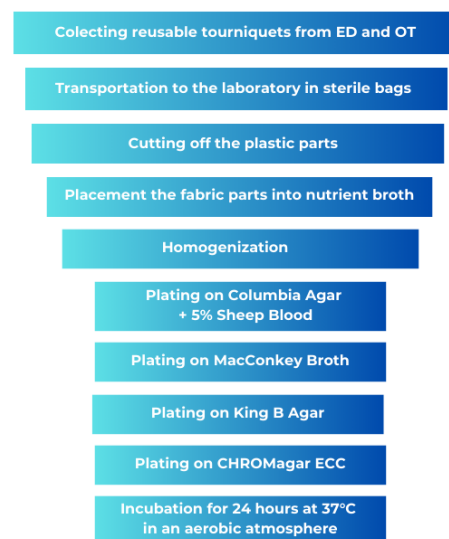


Figure 4. Stages of material collection. ER, Emergency Department; OT, Operating Theatre.

Study on MacConkey Agar and King B Agar Plates (Gram-Negative Bacteria and *Pseudomonas* Count)

In addition, 200 µL of the concentrated homogenate, without any dilution, was plated onto MacConkey agar and King B agar plates. These media were selected to evaluate the diversity of microorganisms present in the samples.

MacConkey agar allows for the growth of Gram-negative bacteria while inhibiting the growth of most Gram-positive bacteria. It is especially useful for isolating and differentiating enteric bacteria based on their ability to ferment lactose.

King B agar was chosen because it is selective for *Pseudomonas* species, allowing for the growth of this genus while inhibiting the growth of other microorganisms.

All plates were incubated for 24 h at 37 °C in an aerobic atmosphere to allow for microbial growth and colony formation. These media helped in identifying the presence and diversity of microbial contamination on the samples, as well as enabling the differentiation of specific bacterial groups.

2.7. Statistical Methods

Data were entered and analyzed using Statistica software version 13.3 (TIBCO Software Inc., Krakow, Poland). Descriptive data were presented as frequencies, means, and percentages. Values of $p < 0.05$ were considered statistically significant. Given that the data from the emergency room and the operating room did not meet the assumption of normal distribution and given the small sample sizes (<30), the Mann–Whitney U test was used.

3. Results

A total of 48 samples taken from reusable bands contained bacterial colonies. Due to the assumptions of the experiment and the time frame, five tourniquets were not included in the analysis. Six reusable tourniquets were collected in each of the three stages of the study in the emergency department (eighteen in total). In the operating room, 30 tourniquets were collected in all (10 for each stage of the study).

3.1. Microbial Contamination

3.1.1. Abundance on Columbia Agar

Microorganisms were detected in each stage, confirming their widespread occurrence in the samples analyzed. The data is shown in Table 1.

Table 1. Comparison of the number of colony-forming units per cm² of tourniquet fabric and per plastic part on a Columbia agar plate with 5% sheep blood. The value of 667 was borderline, with an uncountable number of CFUs on microbiological media.

Type of Data		CFU/cm ² Fabric			CFU Plastic		
Type of Room	Length of Use	Indefinite Time	14 Days	28 Days	Indefinite Time	14 Days	28 Days
Emergency department	pediatric room	667	667	256	23	16	8
	pediatric observation	362	667	358	4	10	14
	adult observation	667	667	667	300	23	73
	adult observation	613	667	667	13	20	42
	consultation area	9	327	667	2	3	16
	resuscitation area	667	551	667	61	8	21
mean:		498	591	547	67	13	29
Operating theatre	neurologic	7	20	7	1	0	3
	neurologic	36	16	220	3	0	0
	orthopedic	156	18	102	1	1	0
	orthopedic	124	280	29	2	2	2
	orthopedic	120	198	38	16	5	12
	gynecology	4	4	51	0	0	1
	pediatric	244	22	667	0	0	2
	pediatric	13	13	213	0	0	18
	general surgery	13	36	196	0	8	8
	general surgery	53	4	138	0	1	9
mean:		77	61	166	2	2	6

There is a statistically significant difference ($p = 0.00001$) between the emergency department and the operating room (Table 1) regarding the number of CFU/cm² per tourniquet.

There is a statistically significant difference ($p = 0.03$) between 14 days and 28 days of tourniquet use regarding the number of CFUs at the study sites. No significant statistical difference was observed between 14 and 28 days of tourniquet use in the number of CFU/cm² in the emergency department. The average number of CFU/cm² across all stages of this study for the emergency department was 545 CFU/cm² and for the operating theatre was 101 CFU/cm². In comparison, in the human skin microbiome, the average number of microorganisms isolated using traditional culture methods from the skin surface ranges from 10⁴ to 10⁵ CFU/cm² [15,16].

The tourniquets colonized to the highest degree were those from the emergency department, specifically the pediatric area (Figure 5) and the adult observation area.

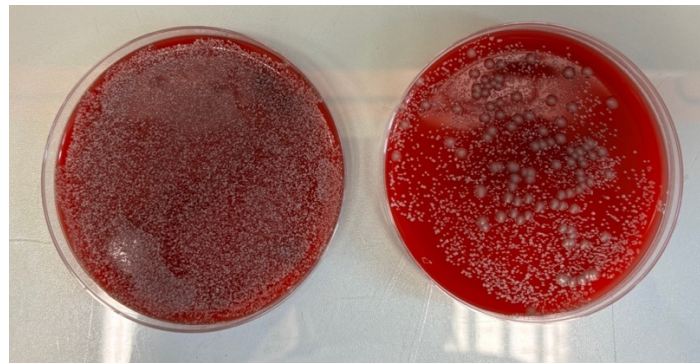


Figure 5. Photograph showing material obtained from tourniquets in the emergency department's pediatric area, seeded on Columbia agar 5% medium: concentrated state on the left and 10-fold dilution on the right.

After 28 days, exceptionally high numbers of CFUs of hemolytic bacteria were observed on cultures from the operating theatre tourniquets. Figure 6 shows the media with a 10-fold diluted homogenate and a concentrated homogenate. An uncountable number of colonies of hemolytic bacteria can be seen on the agar plate.

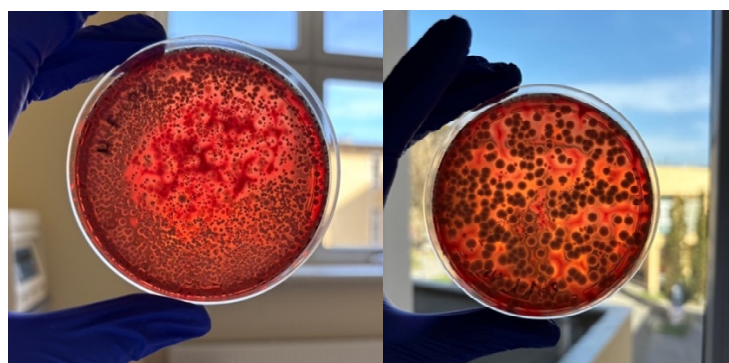


Figure 6. Photograph showing material obtained from tourniquets in the operating theatre's pediatric room after 28 days, seeded on Columbia agar 5% medium: concentrated state on the left and 10-fold dilution on the right, with an uncountable number of hemolytic bacteria.

3.1.2. Abundance on Qualitative Media

For the MCC (MacConkey agar) substrate, the mean microbial count ($\bar{x}$) in the emergency department was 517 CFU/cm², and in the operating theatre, it was 29 CFU/cm². For the King B substrate, the mean microbial count ($\bar{x}$) in the emergency department was 517 CFU/cm², and in the operating theatre, it was 207 CFU/cm² (Table 2). There was no

statistically significant difference in microbial count (CFU/cm²) between the 14-day and 28-day intervals.

Table 2. Comparison of the number of colony-forming units per cm² of tourniquet fabric on the MacConkey and King B substrates. The value of 667 was borderline, with an uncountable number of CFUs on microbiological media.

	Type of Data	MacConkey CFU/cm ²			King B CFU/cm ²		
	Length of Use	Indefinite Time	14 Days	28 Days	Indefinite Time	14 Days	28 Days
Type of Room							
Emergency department	pediatric room	709	453	227	667	667	118
	pediatric observation	191	911	487	667	667	231
	adult observation	667	667	667	667	667	373
	adult observation	558	667	667	416	667	649
	consultation area	9	140	667	4	238	667
	resuscitation area	667	280	667	667	607	667
average CFU/cm ² :		467	520	564	515	586	451
Operating theatre	neurologic	0	27	0	11	22	0
	neurologic	13	4	0	33	11	427
	orthopedic	129	27	0	31	4	9
	orthopedic	144	187	0	44	236	0
	orthopedic	56	167	0	64	160	7
	gynecology	0	2	0	0	18	13
	pediatric	33	24	0	131	18	667
	pediatric	7	11	11	18	13	29
	general surgery	2	16	0	7	2	40
	general surgery	20	2	0	27	2	16
average CFU/cm ² :		40	46	1	37	49	121

3.2. Blood Stains

A total of 21 of the 48 tourniquets examined (44%) had visible blood stains (Table 3).

Table 3. The presence of blood stains on the tourniquets depending on whether the blood stains were present on the fabric or plastic part of the tourniquets.

	Emergency Department		Operating Theatre	
	Fabric	Plastic	Fabric	Plastic
Indefinite time	2 of 6 tourniquets	1 of 6 tourniquets	3 of 10 tourniquets	0 of 10 tourniquets
14 days	3 of 6 tourniquets	2 of 6 tourniquets	2 of 10 tourniquets	2 of 10 tourniquets
28 days	2 of 6 tourniquets	1 of 6 tourniquets	2 of 10 tourniquets	1 of 10 tourniquets

4. Discussion

4.1. Key Results

Our study, which examined the presence of microorganisms on reusable blood collection tourniquets, highlights significant safety and hygiene concerns in medical practice. Tourniquets, essential tools for blood collection, can become potential vectors for infection transmission.

4.1.1. Significance of Findings

Our study revealed the presence of various microorganisms, including pathogenic bacteria, on the surface of reusable tourniquets. This finding aligns with previous research suggesting the risk of infection transmission through reusable medical equipment [17]. The dynamic environment of emergency departments (EDs), characterized by rapid patient turnover and inconsistent hygiene practices, likely contributes to higher contamination levels. Natarajan et al. emphasized the lack of established cleaning protocols for reusable tourniquets [17]. A study conducted in a Greek emergency department found high bacterial contamination on medical devices, such as stethoscopes and cardiac monitors, with 99% of devices testing positive for bacteria, primarily coagulase-negative staphylococci [18]. Similarly, a Polish emergency department study found higher bacterial presence compared to other work environments, underscoring the risk of pathogen exposure in such settings [19]. The long-term use of tourniquets, with bacteria persisting even after 14 and 28 days, raises concerns about the effectiveness of current disinfection protocols.

4.1.2. Microbial Growth Analysis

Our study also examined bacterial growth on different media. On MacConkey medium, which is used to culture Gram-negative bacteria, from the Enterobacteriaceae family selectively, the average colony-forming units (CFUs) per cm² were 517 in the emergency department and 29 in the operating theatre. The Enterobacteriaceae family includes various pathogens, such as *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Proteus*, *Yersinia*, and *Citrobacter*, which can cause urinary tract infections (UTIs), gastrointestinal infections, respiratory infections, tissue infections, and sepsis.

On King B agar plates, used to isolate and differentiate fluorescent *Pseudomonas* species, including *Pseudomonas aeruginosa*, the average bacterial count was 517 CFU/cm² in the emergency department and 207 CFU/cm² in the operating room.

The third medium, ECC (*E. coli* Coliforms Chromogenic) agar, used for differentiating *Escherichia coli* and other coliforms, did not yield significant growth.

4.1.3. Site and Timing of Sample Collection

We selected a tertiary referral hospital for this study due to its advanced medical services. Despite the hospital's high standard of care, it lacks a protocol for cleaning reusable equipment. We compared tourniquets from two distinct environments: the emergency department, with its high patient volume and variable conditions, and the operating theatre, which, although cleaner, has more controlled conditions and fewer patients. This comparison underscores the stark contrast in contamination levels between these two settings. The ED is designed for rapid triage, assessment, stabilization, and treatment of patients with diverse and often urgent medical conditions. It operates in a fast-paced, noisy, and chaotic environment, with a high turnover of patients and medical staff. The focus is on quick diagnosis and stabilization, with procedures tailored to swiftly address the most critical needs.

In contrast, the operating theatre is designed for surgical procedures, where sterility and precision are paramount. The environment is controlled to minimize infection risk, and the work involves carefully planned and organized operations. Though emergencies may arise, the operating theatre's procedures adhere strictly to surgical and aseptic protocols. Our study confirms the microbiological differences between these two areas in terms of contamination.

In terms of timing, we based our study on pre-survey results and the viability of microorganisms over time. The group with an indefinite use duration served as a baseline for the 14- and 28-day groups. Previous studies have not investigated temporal variation in

microbial counts in similar settings [6]. The average number of CFU/cm² across all stages of the study for the emergency department was 545 CFU/cm² and 101 CFU/cm² for the operating theatre. In comparison, in the human skin microbiome, the average number of microorganisms isolated using traditional culture methods from the skin surface ranges from 10⁴ to 10⁵ CFU/cm² [15,16].

4.1.4. Septic Infections

Catheter-related bloodstream infections (CRBSIs) are a leading cause of sepsis, associated with increased morbidity, mortality, and significant medical costs (\$32,000 to \$69,332) [10–14]. The microorganisms most commonly responsible for CRBSIs include *Acinetobacter* spp., *Klebsiella pneumoniae*, coagulase-negative staphylococci, and *Candida albicans* [20].

4.1.5. Blood Stains

Blood stains were identified on the surface of 44% of the tourniquets tested. It would be valuable to investigate whether blood-borne viral infections, such as HBV, HCV, and HIV, could be related to blood stains on the tourniquets.

4.1.6. Material Collection Method

Earlier studies often used broth mixture methods [21,22], but microbial swabbing has become more common for material collection [23–25]. Other studies have imprinted the surface of tourniquets on microbiological media [26–28]. We employed a method involving mechanical shaking to remove the microorganisms from the porous structure of the tourniquets, which allowed for a more accurate microbiological analysis. Although swabs collect smaller amounts of material, they may not be sufficient for certain tests, especially when microorganism concentrations are low. Additionally, swabs carry a risk of contamination during collection or transport if sterility is not maintained. In contrast, homogenization ensures a more representative and accurate sample by allowing a larger volume of material to be collected, which is particularly beneficial for tests requiring larger sample sizes.

4.1.7. Impact on Medical Practices

The presence of microorganisms on tourniquets highlights the need for stricter disinfection and sterilization protocols in healthcare facilities, or the use of disposable tourniquets. Leitch et al. noted that disposable tourniquets are unpopular due to the difficulty of insertion and discomfort caused by the rubber material [24]. Golder et al. emphasized the importance of following protocols to prevent cross-contamination, not only regarding hand hygiene but also with reusable equipment [28]. Our findings suggest that standard cleaning methods may not be adequate, and more advanced techniques, such as chemical disinfection or steam sterilization, might be necessary to effectively eliminate pathogens. However, the consistency with which these methods are implemented must also be considered. The reusable tourniquets available in Poland lack clearly defined cleaning guidelines in their product specifications. Some sources recommend sterilization at 80 °C, limiting autoclaving options to remove spores. To address this, a higher temperature of 121 °C should be used, though this could distort the tourniquets. According to hospitals in Pomerania, no internal cleaning procedures exist for reusable tourniquets. This lack of standardization and manufacturer guidelines points to the need for developing and standardizing hospital protocols.

Additionally, medical staff should be educated on the importance of hand hygiene and regular equipment disinfection to minimize infection risks. Mehmood et al. observed a lack of awareness among medical staff regarding the spread of pathogens via reusable tourniquets and highlighted insufficient staff involvement in the disinfection process [25].

4.1.8. Proposals for Further Research

Future studies should investigate the correlation between tourniquet material types and microorganism adhesion. Studies on the effects of various materials on microbial survival and multiplication would be valuable. Additionally, the impact of incorporating metal nanoparticles into reusable equipment could be examined, as antimicrobial coatings could improve infection control measures and extend the lifespan of tourniquets, potentially reducing medical waste.

Life cycle assessment (LCA) studies should also be conducted to comprehensively evaluate the environmental impact of disposable versus reusable tourniquets. This would help to determine which option has less ecological impact, considering factors such as distribution, plastic use, and disposal.

4.2. Limitations

Our study was limited by a small sample size ($n = 48$) and a narrow range of microorganisms analyzed. Future research should include larger samples and examine a broader spectrum of microorganisms to obtain more comprehensive data on the risks associated with reusable tourniquets. We did not monitor how staff handled the tourniquets, including disinfectant use, during this study.

4.3. Conclusions

In summary, our study provides evidence of significant microbial contamination on reusable blood collection tourniquets, with differences in species and abundance across hospital settings. These findings underscore the infection risks associated with reusable tourniquets, reinforcing the need for rigorous disinfection protocols, particularly in high-risk areas. Given the lack of standardized cleaning guidelines and the degree of contamination observed, we recommend emphasizing the lack of hygiene in the use of reusable tourniquets and implementing changes in the sectors responsible for cleaning equipment, staff education, and the type of tourniquets used.

Implications for Practice

Applying these findings to nursing practice can help to reduce infections and improve healthcare quality. Training nursing staff in best practices for handling and disinfecting reusable equipment is essential to ensure high standards in patient care. The results also emphasize the importance of fostering a culture of safety, with nurses playing a critical role in following best practices and identifying nosocomial infection risks.

Author Contributions: Conceptualization, J.S. and W.M.-D.; methodology, J.S., W.M.-D., M.K. and K.Z.; data curation, J.S. and B.K.; analysis, J.S. and M.K.; writing—original draft preparation, J.S. and M.K.; writing—review and editing, J.S., M.K., W.M.-D. and K.Z.; visualization, W.M.-D. and K.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The research was financed and supported by the Medical University of Gdansk (No. 01-30025/0008334/01).

Institutional Review Board Statement: This study received approval from the Independent Bioethics Committee for Research of the Medical University of Gdansk (approval number: KB/45/2024, 29 February 2024).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The original contributions presented in the study are included in the article, further inquiries can be directed to the corresponding authors.

Acknowledgments: We would like to thank Krystyna Paszko of the Gdansk College of Health, who was involved in planning the study and supporting the research.

Conflicts of Interest: Author Bartosz Krasinski was employed by the company Emergency Department, Health Care Entity Copernicus Sp. z o. o. The remaining authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

References

- Messina, G.; Ceriale, E.; Lenzi, D.; Burgassi, S.; Azzolini, E.; Manzi, P. Environmental Contaminants in Hospital Settings and Progress in Disinfecting Techniques. *BioMed Res. Int.* **2013**, *2013*, 429780. [CrossRef] [PubMed]
- Whittington, A.M.; Whitlow, G.; Hewson, D.; Thomas, C.; Brett, S.J. Bacterial contamination of stethoscopes on the intensive care unit. *Anaesthesia* **2009**, *64*, 620–624. [CrossRef] [PubMed]
- O’Flaherty, N.; Fenelon, L. The stethoscope and healthcare-associated infection: A snake in the grass or innocent bystander? *J. Hosp. Infect.* **2015**, *91*, 1–7. [CrossRef] [PubMed]
- Vikke, H.S.; Giebner, M. POSAiDA: Presence of Staphylococcus aureus/MRSA and Enterococcus/VRE in Danish ambulances. A cross-sectional study. *BMC Res. Notes* **2016**, *9*, 194. [CrossRef] [PubMed] [PubMed Central]
- Obenza, A.; Cruz, P.; Buttner, M.; Woodard, D. Microbial contamination on ambulance surfaces: A systematic literature review. *J. Hosp. Infect.* **2022**, *122*, 44–59. [CrossRef] [PubMed]
- Szymczyk, J.; Månsson, M.; Mędrzycka-Dąbrowska, W. Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms- a systematic review. *Front. Public Health* **2023**, *11*, 1258692. [CrossRef] [PubMed] [PubMed Central]
- Kim, J.; Ahn, H.; Lee, E.; Chae, H. Anesthesiologist’s hand hygiene and disinfection of reusable rubber tourniquet with alcohol swabs before intravascular cannulation. *Korean J. Anesthesiol.* **2014**, *67*, S9–S10. [CrossRef]
- 2, Best Practices in Phlebotomy. In *WHO Guidelines on Drawing Blood: Best Practices in Phlebotomy*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2010. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138665/> (accessed on 12 September 2024).
- Latos, M.; Jadczyk, M.; Łodzińska, M.; Szczypka, A.; Kołatek, M.; Wróblewski, Ł.; Sadownik, B.; Solecki, M.; Szymczak, A.; Pytel, M.; et al. Safe Vascular Access. Expert Recommendations of the Safe Vascular Access Working Group. 15 November 2023, Updated 31 May 2024. Available online: https://deklaracja-bezpiecznyszpital.pl/wp-content/uploads/2023/11/Raport-Recommendations-Experts-Grupa-Robocza-Bezpieczny-Dostep-Naczyniowy_WWW-1.pdf (accessed on 22 September 2024).
- Culjak, M.; Gveric Grginic, A.; Simundic, A.M. Bacterial contamination of reusable venipuncture tourniquets in tertiary-care hospital. *Clin. Chem. Lab. Med.* **2018**, *56*, e201–e203. [CrossRef]
- Parreira, P.; Serambecke, B.; Costa, P.S.; Mónico, L.S.; Oliveira, V.; Sousa, L.B.; Gama, F.; Bernardes, R.A.; Adriano, D.; Marques, I.A.; et al. Impact of an Innovative Securement Dressing and Tourniquet in Peripheral Intravenous Catheter-Related Complications and Contamination: An Interventional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 3301. [CrossRef] [PubMed] [PubMed Central]
- Thompson, S.; Middleton, M.; Farook, M.; Cameron-Smith, A.; Bone, S.; Hassan, A. The effect of sterile versus non-sterile tourniquets on microbiological colonisation in lower limb surgery. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* **2011**, *93*, 589–590. [CrossRef]
- Grohmann, M.; Schomakers, L.; Wolschendorf, F.; Grosch, J.; Lindner, S.; Witte, A. Reduced bacterial contamination rates detected on silicone tourniquets compared to conventional tourniquets in clinical routine. *BMC Infect. Dis.* **2020**, *20*, 247. [CrossRef] [PubMed]
- Vandenbroucke, J.P.; von Elm, E.; Altman, D.G.; Gøtzsche, P.C.; Mulrow, C.D.; Pocock, S.J.; Poole, C.; Schlesselman, J.J.; Egger, M.; STROBE Initiative. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *Int. J. Surg.* **2014**, *12*, 1500–1524. [CrossRef] [PubMed]
- Cundell, A.M. Microbial Ecology of the Human Skin. *Microb. Ecol.* **2018**, *76*, 113–120. [CrossRef] [PubMed]
- Andersen, B.M. *Prevention and Control of Infections in Hospitals: Practice and Theory*, 1st ed.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2018; pp. 337–437.
- Natarajan, A.; Das, S.; Chaudhary, N. Microbial Profile of Tourniquets Used in Phlebotomy at a Rural Tertiary Care Teaching Hospital. *Cureus* **2023**, *15*, e49328. [CrossRef] [PubMed]
- Fafiora, E.; Bampalis, V.; Lazarou, N.; Mantzouranis, G.; Anastassiou, E.; Spiliopoulou, I.; Christofidou, M. Bacterial contamination of medical devices in a Greek emergency department: Impact of physicians’ cleaning habits. *Am. J. Infect. Control* **2014**, *42*, 807–809. [CrossRef] [PubMed]
- Bielawska-Drózd, A.; Wlizio-Skowronek, B.; Cieślík, P.; Winnicka, I.; Skopińska-Różewska, E.; Kubiak, L.; Żakowska, D.; Brewczyńska, A.; Kocik, J. Evaluation of the Levels and Quality of Microbial Contamination in Medical Emergency Departments in Comparison to Other Workplaces. *Pol. J. Microbiol.* **2017**, *65*, 465–469. [CrossRef] [PubMed]

20. Pitiriga, V.; Bakalis, J.; Theodoridou, K.; Kanellopoulos, P.; Saroglou, G.; Tsakris, A. Lower risk of bloodstream infections for peripherally inserted central catheters compared to central venous catheters in critically ill patients. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* **2022**, *11*, 137. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[PubMed Central](#)]
21. Pinto, A.N.; Phan, T.; Sala, G.; Cheong, E.Y.; Siarakas, S.; Gottlieb, T. Reusable venesection tourniquets: A potential source of hospital transmission of multiresistant organisms. *Med. J. Aust.* **2011**, *195*, 276–279. [[CrossRef](#)]
22. Elhassan, H.A.; Dixon, T. MRSA Contaminated Venepuncture Tourniquets in Clinical Practice. *Postgrad. Med. J.* **2012**, *88*, 194–197. [[CrossRef](#)]
23. Abeywickrama, T.; Amarasinghe, K.; Wijerathne, S.; Dharmarathne, C.; Fernando, D.; Senaratne BC, V.; Gunasekara, H.A.K.M. Methicillin resistant Staphylococcus aureus contamination of phlebotomy tourniquets and faucets. *Ceylon Med. J.* **2018**, *63*, 5–10. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Leitch, A.; McCormick, I.; Gunn, I.; Gillespie, T. Reducing the Potential for Phlebotomy Tourniquets to Act as a Reservoir for Meticillin-Resistant Staphylococcus Aureus. *J. Hosp. Infect.* **2006**, *63*, 428–431. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Mehmood, Z.; Mubeen, S.M.; Afzal, M.S.; Hussain, Z. Potential Risk of Cross-Infection by Tourniquets: A Need for Effective Control Practices in Pakistan. *Int. J. Prev. Med.* **2014**, *5*, 1119–1124.
26. Petersen, E.R.B.; Nybo, M. Hygiene of venepuncture tourniquets in Denmark. *Scand. J. Clin. Lab. Investig.* **2018**, *78*, 417–420. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Sacar, S.; Turgut, H.; Kaleli, I.; Cevahir, N.; Asan, A.; Sacar, M.; Tekin, K. Poor hospital infection control practice in hand hygiene, glove utilisation, and usage of tourniquets. *Am. J. Infect. Control* **2006**, *34*, 606–609. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Golder, M.; Chan, C.L.H.; O'Shea, S.; Corbett, K.; Chrystie, I.L.; French, G. Potential risk of cross-infection during peripheral-venous access by contamination of tourniquets. *Lancet* **2000**, *355*, 44. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Article

Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments

Julia Szymczyk ¹, Marta Jaskulak ² , Monika Kurpas ² , Katarzyna Zorena ²  and Wioletta Mędrzycka-Dąbrowska ^{1,*} 

¹ Division of Anaesthesiology Nursing & Intensive Care, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdansk, Dębinki 7 St., 80-211 Gdansk, Poland; szymczykjulia@gumed.edu.pl

² Division of Immunobiology and Environmental Microbiology, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdansk, 80-211 Gdansk, Poland; marta.jaskulak@gumed.edu.pl (M.J.); monika.kurpas@gumed.edu.pl (M.K.); katarzyna.zorena@gumed.edu.pl (K.Z.)

* Correspondence: wioletta.medrzycka@gumed.edu.pl

Abstract

Background: Reusable tourniquets are commonly used to aid venipuncture and blood collection. However, inadequate disinfection may lead to bacterial contamination and increase the risk of healthcare-associated infections (HAIs). Tourniquets can function as fomites, facilitating the spread of pathogenic bacteria. This study assessed microbial contamination of reusable tourniquets in the emergency department and operating theatre, focusing on clinically relevant HAI-associated pathogens. **Methods:** Tourniquets from four hospital departments (emergency: adult observation and resuscitation; surgical theatres: pediatric and adult general surgery) were sampled at three time points (n = 12). DNA was extracted and analyzed via 16S rRNA sequencing using NGS technology to identify microbial contamination and taxonomic composition. **Results:** Sequencing revealed 131 bacterial species across the 12 tourniquets, including clinically important pathogens. Among the top ten HAI-associated groups, *Klebsiella* spp. were detected in 5/12 samples, *Enterococcus* spp. in 9/12, *Staphylococcus aureus* in 1/12, *Pseudomonas aeruginosa* in 9/12, and *Acinetobacter* spp. in 10/12. No *Escherichia coli*, *Clostridium difficile*, coagulase-negative staphylococci, *Proteus* spp., or *Enterobacter* spp. were found. Emergency department tourniquets showed higher bacterial loads; operating theatres had greater species diversity. **Conclusions:** Reusable tourniquets harbor significant bacterial contamination. Considering disinfection challenges and the lack of guidelines, single-use tourniquets should be considered to reduce HAI risk.

Keywords: tourniquets; fomites; cross infection; microbiota; metagenomics; operating rooms; emergency service; hospitals



Academic Editor: Ramona Iseppi

Received: 7 June 2025

Revised: 27 June 2025

Accepted: 30 June 2025

Published: 4 July 2025

Citation: Szymczyk, J.; Jaskulak, M.; Kurpas, M.; Zorena, K.; Mędrzycka-Dąbrowska, W.

Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments. *Appl. Sci.* **2025**, *15*, 7545. <https://doi.org/10.3390/app15137545>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Numerous reports by the WHO and other organizations have indicated a widening endemic burden of healthcare-associated infections (HAI), including antimicrobial-resistant infections, that harm patients daily in the health care sector in all countries, regardless of their income status. The most significant of these potentially preventable infections are bloodstream infections and other infections related to the use of intravascular catheters [1]. Contaminated medical equipment, including reusable tourniquets, can serve as a significant vector for pathogen transmission. Hospital-acquired infections (HAIs) remain a major challenge in healthcare settings, causing increased morbidity, mortality, and healthcare

costs. Previous studies have identified bacterial colonization on frequently used hospital equipment; however, data on tourniquet contamination remain limited [2].

Reusable tourniquets are widely used in health care environments for practices, including intravenous (IV) cannulation, diagnostic blood sample withdrawal, and medication infusion. Specifically, these devices are elastic material placed on a patient's limb to promote vein distension by locating 10–15 cm proximal to the desired insertion site. Reusable tourniquets, despite routine use and direct contact with the patient's skin, are frequently neglected in infection control measures. The World Health Organization in "Guidelines for the Prevention of Bloodstream and Other Infections Associated with the Use of Intravascular Catheters" recommends that the tourniquet be disinfected before use, but this may not be practical; alternatively, a disposable tourniquet can be used if available [1]. Parreira et al. reported that the application of disposable tourniquets and bandages with reinforced edges reduced the rate of PIVC infection from 44.1% to 17.9%, with statistical significance ($p = 0.014$) [3]. It is important to emphasize that the problem of reusable tourniquet contamination is highly relevant in clinical practice. Studies have shown that the contamination rate of reusable tourniquets ranges from 9% to as high as 100%, with many analyses reporting rates exceeding 70% [4]. Such high levels of contamination highlight how widespread and underestimated this issue is in everyday healthcare settings. The most frequently isolated bacteria on tourniquet surfaces are staphylococci, especially coagulase-negative staphylococci and *Staphylococcus aureus*, but other pathogens, such as *Bacillus*, members of the *Enterobacteriaceae* family, *Enterococcus*, and even antibiotic-resistant strains like MRSA, are also present [2,4]. Reusable tourniquets can act as fomites, serving as vehicles for pathogen transmission between patients, often via the hands of healthcare workers [2,5]. The design of tourniquet elastic materials and surfaces that are difficult to clean thoroughly makes effective disinfection challenging, and routine procedures are often insufficient [2]. For these reasons, an increasing number of international organizations recommend the use of disposable tourniquets or the implementation of rigorous disinfection protocols to reduce the risk of cross-infection. Including these aspects underscores the need for research on microorganisms present on reusable tourniquets and highlights the impact of this issue on patient safety and the quality of healthcare [6,7].

This study expands on our previous work [8] by using 16S rRNA metagenomic sequencing to provide a comprehensive analysis of bacterial diversity on reusable tourniquets, revealing taxa that could not be detected by culture-based methods. The aim of this study was to characterize the bacterial species present on reusable tourniquets used in the emergency department and operating rooms, assessing differences in bacterial load and species diversity by location and time of use using 16S rRNA V3-V4 amplicon sequencing. Overall, this study aims to inform infection control practices by identifying potential microbial transmission risks associated with reusable tourniquets and highlighting the need for optimized sterilization protocols to reduce HAIs.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Settings

The cross-sectional study was conducted between July 2024 and February 2025 in Gdansk. The collection of material for this study took place in a hospital with the status of a tertiary hospital in northern Poland. The researchers followed the guidelines of Strengthening the reporting of molecular epidemiology for infectious diseases (STROME-ID): an extension of the STROBE statement [9].

Reusable tourniquets were selected from two distinct clinical Units within the hospital: the emergency department—"SR" tourniquets labeling and the operating theater—"SBO" tourniquets labeling (Table 1). These settings were chosen based on their high patient

turnover and frequent use of tourniquets, representing areas with elevated potential for microbial contamination and cross-transmission. The chosen departments differ substantially in their aseptic procedures and disinfection protocols. The operating theater adheres to stricter infection control standards and routine sterilization practices due to the invasive nature of procedures conducted there. In contrast, the emergency department operates under high-pressure, fast-paced conditions where aseptic protocols may be less stringent or inconsistently applied. Inclusion criteria: tourniquets intended for repeated use (reusable), constructed from polyester-elastane fabric, actively used in emergency department settings, and actively used in operating theater settings. Exclusion criteria: single-use (disposable) tourniquets, tourniquets composed of latex, thermoplastic elastomer (TPE), polyurethane (PU), or synthetic rubber, or tourniquets used in hospital units other than the emergency department or operating theater.

Table 1. Sampling design and observation timeline in the emergency department and the operating theater.

Sample Name	Observation Time	Area
SR3_1	Indefinite	Adult observation
SR3_2	14 days	
SR3_3	28 days	
SR6_1	Indefinite	Resuscitation area
SR6_2	14 days	
SR6_3	28 days	
SBO7_1	Indefinite	Pediatric surgery
SBO7_2	14 days	
SBO7_3	28 days	
SBO10_1	Indefinite	Adult general surgery
SBO10_2	14 days	
SBO10_3	28 days	

“SR” labeling applies to emergency department tourniquets, and “SBO” labeling applies to operating theater tourniquets.

2.2. Sample Collection and Processing

A reusable tourniquet material made of porous, flexible fabric was microbiologically analyzed. This study included 12 tourniquets collected from the emergency department and the operating theater. The detailed procedure for sample collection has been described in a previous publication [9]. In short, in the laboratory, plastic elements were cut off from the fabric part of each tourniquet. The fabric part of the tourniquet was placed in a bag with nutrient broth and shaken in a homogenizer. The resulting suspension was inoculated onto microbiological media. After incubation at 37 °C under aerobic conditions, bacterial colonies were counted. Cultures grown in nutrient broth were, after 72 h, transferred to sterile 15 mL tubes (Falcon type, Genoplast, Rokocin, Poland) and centrifuged at 5000 g for 10 min. The resulting pellet was preserved at −80 °C at the Department of Immunobiology and Environmental Microbiology, Medical University of Gdansk, Gdansk, Poland.

2.3. DNA Extraction and Sequencing

ExtractMe total DNA purification columns (Blirt, Gdańsk, Poland) were used to isolate the genetic material, and the manufacturer’s instructions were followed. Purified DNA, suspended in TE buffer (10 mM Tris-HCl (pH 8.0), 1 mM EDTA), was assessed for

concentration and presence of contaminants using a UV-VIS NanoDrop spectrophotometer (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA). The resulting genetic material in the nutrient broth was preserved at -20°C . Samples were subjected to sequencing of the 16S rRNA amplicon, covering the V3–V4 region. The selected fragment (V3–V4) of the 16S rRNA gene was amplified using specific primers, followed by sequencing using NGS technology (Macrogen Europe BV, Amsterdam, The Netherlands). The resulting sequences were bioinformatically pre-analyzed, where, after purification and filtering, they were assigned to taxa based on comparison with databases (NCBI by BLAST v.4.4.2).

2.4. Data Analysis

Data analysis was performed in the R programming environment using RStudio v.3.6.0. The workflow included data preprocessing, visualization, and clustering. Core libraries included dplyr, ggplot2, pheatmap, and ensemble. Analyses in Figures 1 and 2, concerning microbial species diversity at the family and genus level, were performed using cluster analysis with Ward's method and squared Euclidean distance. The heatmap blocks were adjusted according to the clustering-based division of the microorganism.

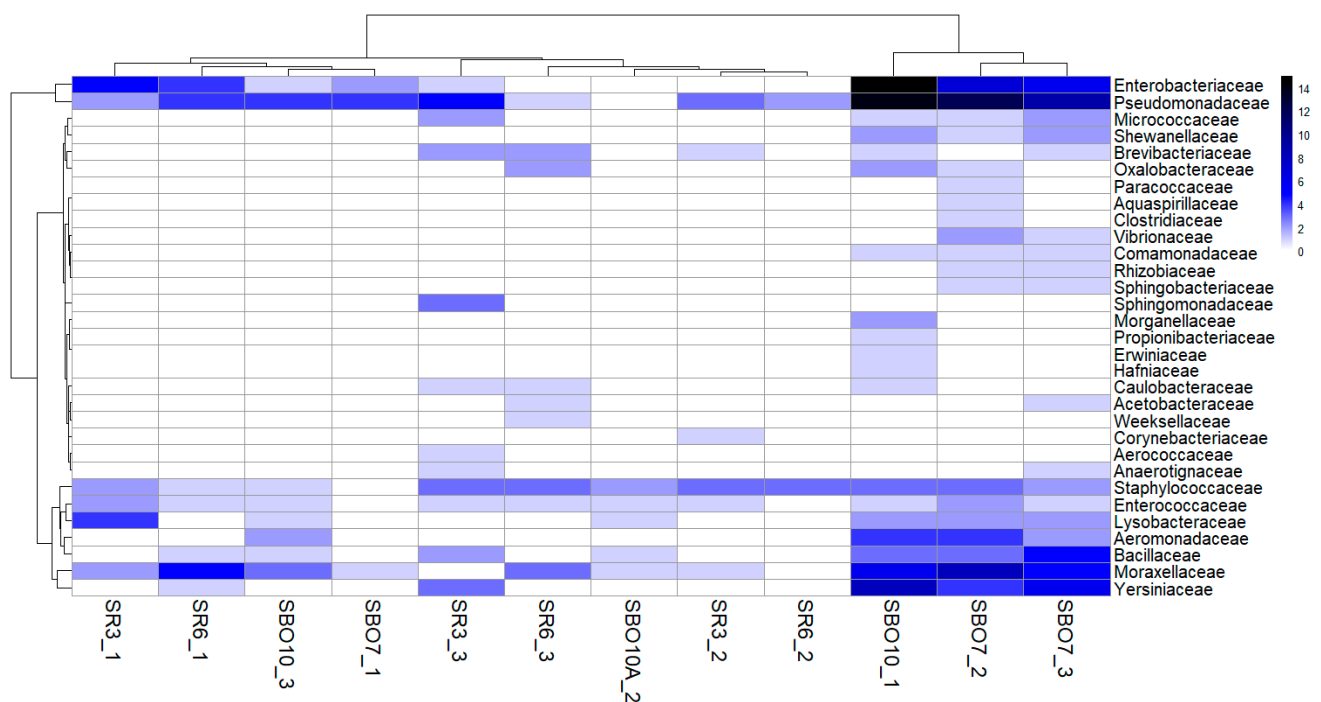


Figure 1. Heatmap with cluster analysis showing species-level diversity within bacterial families, across tested tourniquets.

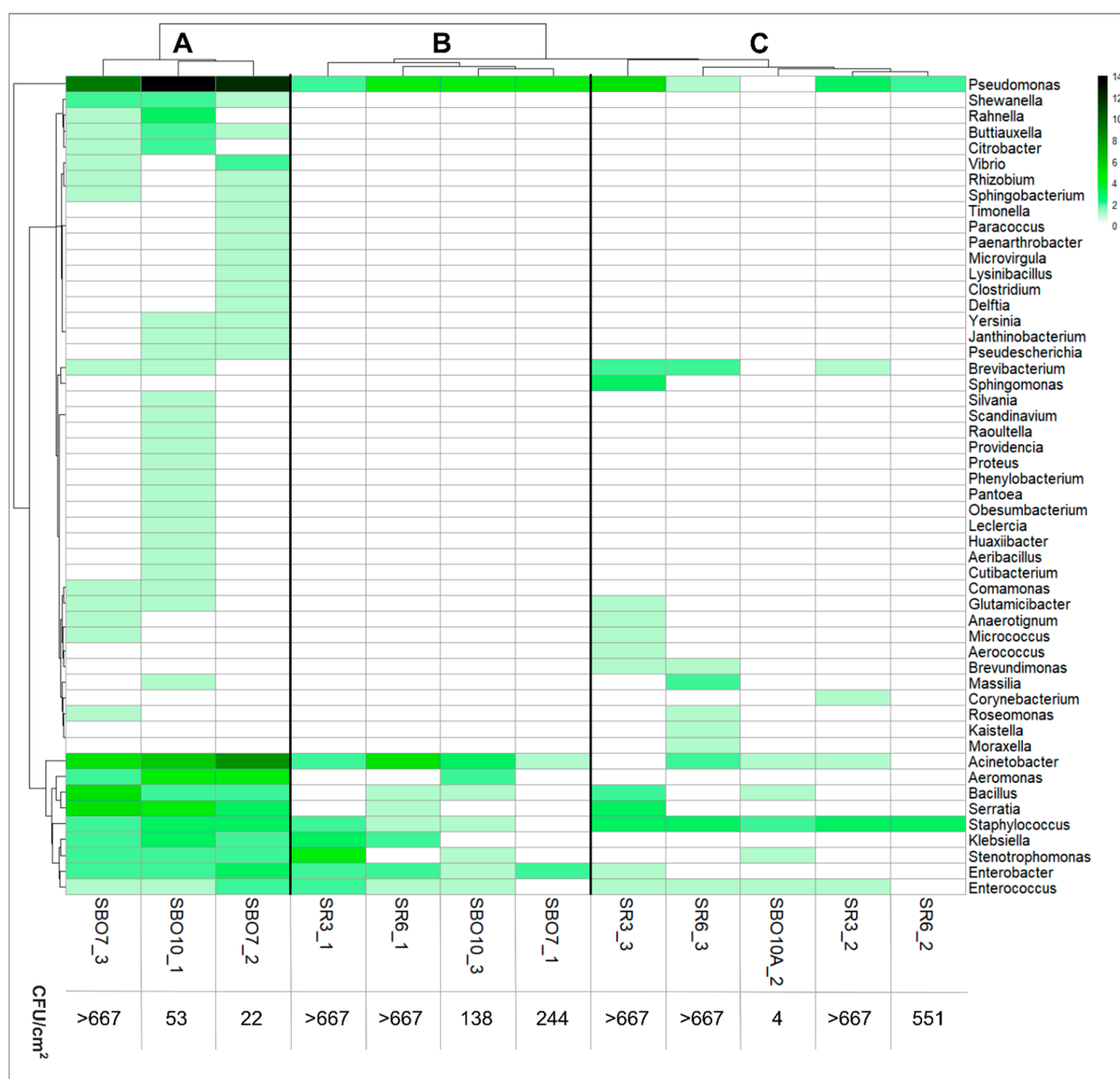


Figure 2. Heatmap with cluster analysis showing species-level diversity within bacterial genera across tested tourniquets. CFU/cm² are sources from the previous article [9]. Based on the division of branches, three distinct clusters (Groups A, B, and C) were identified. These groups represent sets of samples that are more similar to each other within the group than to those in other groups, indicating potential common characteristics or shared patterns.

2.5. Ethical Consideration

The study design has been registered at ClinicalTrials.gov (NCT06566495) and has received approval from the Independent Bioethics Committee for Research of the Medical University of Gdansk (approval number: KB/45/2024, 29 February 2024).

3. Results

3.1. Microbial Composition on the Surface of Reusable Tourniquets

The 16S rRNA sequencing revealed a diverse microbial composition on the surface of reusable tourniquets across different hospital departments. The microbial composition of reusable tourniquets was dominated by Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, and the Bacteroidetes family, with *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, and *Enterococcus*

being the most frequently detected genera (Figures 1 and 2). Differences in bacterial composition were observed between emergency departments and operating theatres, with higher bacterial diversity in tourniquets from the operating theatre setting.

Figure 2 illustrates the diversity of bacteria in individual tourniquets, based on the number of species occurring within a specific genus. Additionally, data on the colony-forming units per cm² of material part of tourniquets, sourced from an earlier publication [9], have been included.

High diversity was observed in samples with both low and severe bacterial contamination. For example, samples SBO10_1 (53 CFU/cm²) and SBO7_2 (22 CFU/cm²) contained, respectively, 33 and 25 genera. Similarly, high bacterial diversity was recorded in a heavily contaminated tourniquet, SBO7_3 (>677 CFU/cm²), with 23 genera. Conversely, low species diversity was also observed across both lightly and heavily contaminated samples. For instance, SBO10A_2 (4 CFU/cm²) contained only five different genera, and SR6_2 (551 CFU/cm²) had just two (*Staphylococcus* and *Pseudomonas*). There was no correlation between microbiological contamination of the sample (CFU) and species diversity. Spearman's rank correlation analysis showed a value of 0.0897 with $p = 0.7815$. Therefore, it can be concluded that there is no clear explanation, and both contamination and species diversity appear to be random.

Cluster analysis using the Ward method, based on the number of species occurring within different genera in the samples, allowed for the division of the studied samples into three groups. Group A consists of three samples characterized by the highest diversity of species and genera. These tourniquets originate only from the operating theatre, with an average of 27 different genera per sample. The genera common to all samples in this group include *Pseudomonas*, *Shewanella*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Serratia*, *Staphylococcus*, *Klebsiella*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, and *Enterococcus*. Genera found only in group A are *Shewanella*, *Rahnella*, *Buttiauxella*, *Citrobacter*, *Vibrio*, *Rhizobium*, *Sphingobacterium*, *Timonella*, *Paracoccus*, *Paenarthrobacter*, *Microvirgula*, *Lysinibacillus*, *Clostridium*, *Delftia*, *Yersinia*, *Janthinobacterium*, *Pseudoescherichia*, *Silvania*, *Scandinavium*, *Raoultella*, *Providencia*, *Proteus*, *Phenylobacterium*, *Pantoea*, *Obesumbacterium*, *Leclercia*, *Hauxiibacter*, *Aeribacillus*, *Cutibacterium*, and *Comamonas*. Group B includes four tourniquets, with half originating from the operating theatre and half from the emergency unit. The average number of genera in this group was 6.5, rounded to 6. The genera common in all samples in this group are *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, and *Enterobacter*. Group C consists of five tourniquets, four of which were taken from the emergency unit and one from the operating theatre. The average number of different bacterial genera in this group was 7.2, rounded to 7. The only genus present in all tourniquets within this group was *Staphylococcus*.

The bacterial diversity across the tested hospital units was measured using the Shannon Diversity Index, which shows slight variations; the operating theater had the highest diversity (2.29), suggesting more species are equally distributed, while the emergency department shows slightly lower diversity (2.17), potentially indicating dominance of specific species.

3.2. Identification of Pathogenic Bacteria

3.2.1. Pathogenic Bacteria Cause HAI

Based on data from the ECDC report on healthcare-associated infections (HAIs) in Europe in the years 2022–2023 [10], ten bacterial species and groups most frequently responsible for HAI were selected. The presence of several of these organisms was confirmed in our research, including *Klebsiella* spp. (*Klebsiella pneumoniae* 5/12 and *Klebsiella aerogenes* 1/12), *Enterococcus* spp. (*Enterococcus faecalis*), *Acinetobacter* spp. (*Acinetobacter bauman-*

nii 9/12 and *Acinetobacter lwoffii* 3/12), as well as *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. Detailed data are presented in Table 2.

Table 2. Occurrence of pathogens responsible for Healthcare-Associated Infections (HAIs) on tourniquets.

Microorganism	Percent of HAI Cases in Europe 2022–2023 [cyt]	Number of Tourniquets All	Number of Tourniquets Emergency Department	Number of Tourniquets Operating Theater
<i>E. coli</i>	12.7%	0/12	0/6	0/6
<i>Klebsiella</i> spp.	11.7%	5/12	2/6	3/6
<i>Enterococcus</i> spp.	10%	9/12	4/6	5/6
<i>Staphylococcus aureus</i>	9%	1/12	0/6	1/6
<i>Clostridium difficile</i>	8%	0/12	0/6	0/6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7.9%	9/12	4/6	5/6
Coagulase-negative staphylococci	5.8%	11/12	6/6	5/6
<i>Proteus</i> spp.	3.2%	0/12	0/6	0/6
<i>Acinetobacter</i> spp.	3.2%	10/12	4/6	6/6
<i>Enterobacter</i> spp.	3%	0/12	0/6	0/6

3.2.2. Bacteria Pathogenic to Humans Found on Reusable Tourniquets

On the surface of reusable tourniquets, our study found bacteria that are pathogenic to humans. On the surface of reusable tourniquets from the emergency department the following pathogenic bacteria were found: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus hominis*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae*, *Enterobacter quasihormaechei*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella variicola*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fulva*, *Acinetobacter baumannii*, *Brevibacterium casei*, *Corynebacterium furnieri*, *Staphylococcus caprae*, *Acinetobacter lwoffii*, *Serratia liquefaciens*, *Pseudomonas luteola*, *Acinetobacter pittii*, *Acinetobacter radioresistens*, *Pseudomonas juntendi*, *Staphylococcus warneri*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Roseomonas gilardii*, *Massilia timonae*, and *Moraxella osloensis*. Reusable tourniquets from the operating theatre showed *Enterobacter quasihormaechei*, *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter pittii*, *Acinetobacter radioresistens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas juntendi*, *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus taiwanensis*, *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter wuhouensis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella variicola*, *Serratia fonticola*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio metschnikovii*, *Brevibacterium casei*, and *Enterococcus hirae* (Figure 3).

Samples from the emergency department (SR series) generally showed high bacterial loads of individual species, which could be linked to the rapid, frequent handling of tourniquets in a high-turnover environment. Conversely, samples from the operating theater (SBO series) displayed a broader range of bacteria species, likely due to different handling and environmental exposure patterns, suggesting distinct cleaning or contamination processes in these departments (Figure 3).

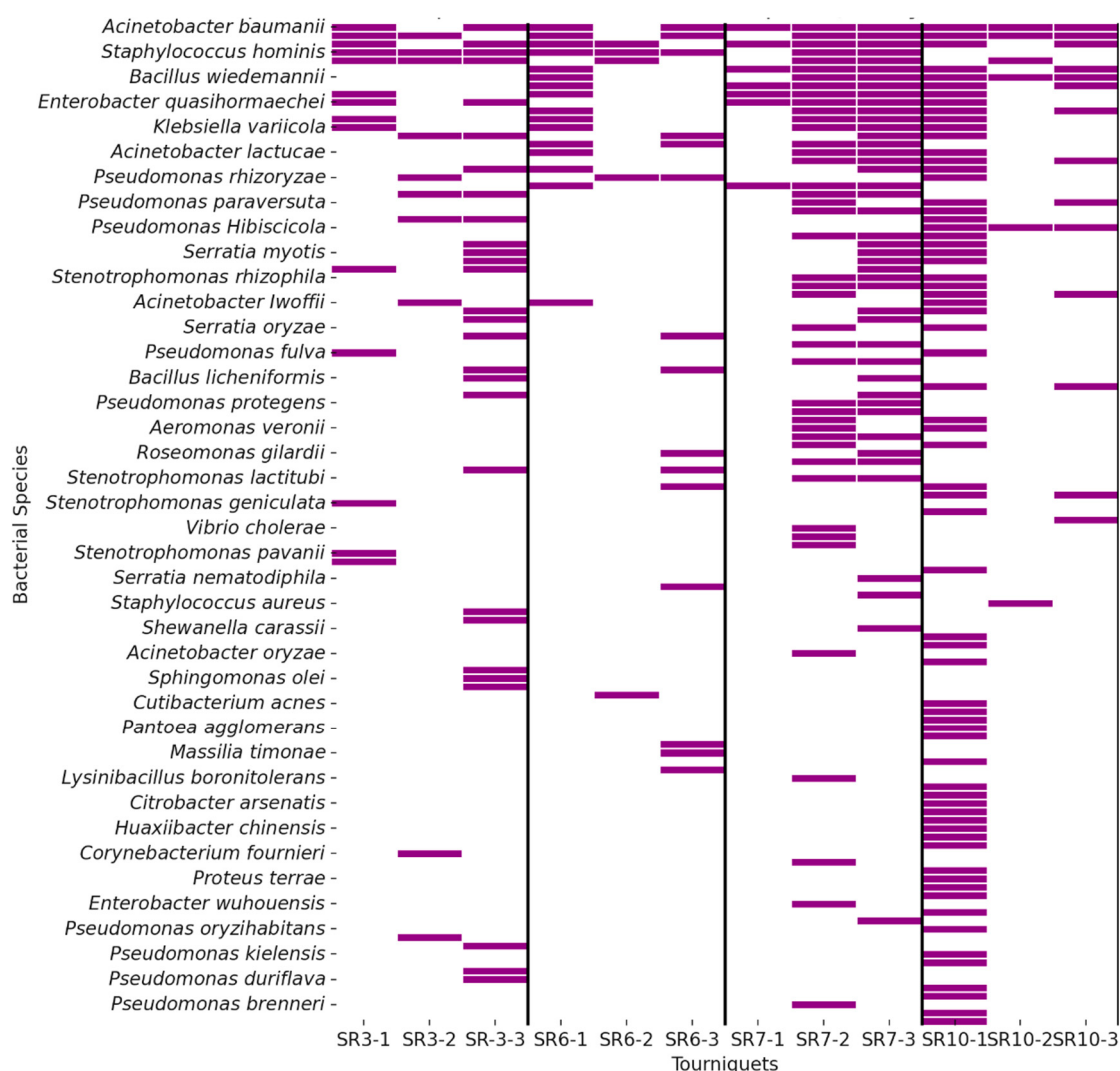


Figure 3. Heatmap presenting relative abundance of the pathogenic bacterial species identified on tourniquets.

4. Discussion

Key Findings and Departmental Variability

Studies have demonstrated the presence of microorganisms on hospital tourniquets that are among the most common causative agents of healthcare-associated infections (HAIs), including *K. pneumoniae*, *K. aerogenes*, *E. faecalis*, *A. baumannii*, *A. lwoffii*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa*. According to the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) reports from 2022 and 2023, in Poland, *Klebsiella* species are responsible for approximately 16% of all reported HAIs, making them the leading cause of hospital-acquired infections nationwide. *Enterococcus* spp. accounts for 11.6% of cases, *S. aureus* for 8.8%, *P. aeruginosa* for 7%, and *Acinetobacter* spp. for 5.7%. *Klebsiella* spp. are most associated with urinary tract infections. *Enterococcus* spp. is frequently linked to surgical site infections, while *S. aureus* is predominantly involved in bloodstream infections and surgical site infections. *P. aeruginosa* and *Acinetobacter* spp. are primarily associated with pneumonia and lower respiratory tract infections [10]. The clinical significance of *Klebsiella pneumoniae* is further underscored by the increasing prevalence of carbapenem-resistant strains (CRKP), which are associated with severe outcomes, limited treatment options, and high mortality rates, particularly among ICU patients [11].

In the presented study, most tourniquets were contaminated by pathogens of the genus *Acinetobacter* (including *Acinetobacter baumannii* and *Acinetobacter lwoffii*), which were detected in 10 out of 12 samples. Although *Acinetobacter* is not the leading cause of hospital-acquired infections, data from the ECDC report raise concern, indicating that 82.9% of *Acinetobacter* strains isolated from healthcare-associated infections exhibit resistance to carbapenems (CAR-R) [10]. A study made by Duszynska and Litwin in the intensive care unit (Wrocław, Poland) revealed that 32% of healthcare-associated infections were caused by *A. baumannii*. During the study period, a statistically significant increase in infections caused by this bacterium was observed, from 16.5% of HAIs in 2011 to 41% in 2016. Notably, 73.8% of these cases were associated with ventilator-associated pneumonia. The study also found that 98.36% of the isolates were multidrug-resistant (MDR), highlighting the serious clinical challenge posed by this species, particularly in units treating immunocompromised patients [12]. A study conducted in southern Poland between 2016 and 2019 in an intensive care unit involving 3028 patients revealed that the two main causative agents of infections were *K. pneumoniae* (16.3%) and *A. baumannii* (14.4%). *A. baumannii* was primarily responsible for pneumonia and lower respiratory tract infections (34.9%), while *K. pneumoniae* was most commonly associated with urinary tract infections (20.2%—the second most frequent cause after *Escherichia coli*) as well as bloodstream infections (16.7%) [13]. In a study conducted in Poland between 2014 and 2019 by Rafa and Kołpa in neurosurgery departments of two hospitals, *A. baumannii* was responsible for 8.8% of all healthcare-associated infections, with pneumonia being the predominant type, accounting for 21.7% of cases in Hospital A [14]. In a study by Wałaszek and Słowik, conducted between 2014 and 2018 on orthopedic patients (6261 patients, 111 cases of healthcare-associated infections), *Acinetobacter baumannii* was identified as the causative agent in 4.5% of the infections [15].

The next most frequently identified pathogens on the examined tourniquets were *E. faecalis* and *P. aeruginosa*, both detected on 9 out of 12 samples. In studies conducted by Rafa and Wałaszek (2021) [13], *E. faecalis* was responsible for 7.1% of HAIs, mostly urinary tract infections (14.5%), and bloodstream infections (8.3%). *P. aeruginosa* accounted for 6.9% of infections in the intensive care unit, including 11.5% of urinary tract infections [13]. *Enterococcus* spp. was also identified as a causative agent of surgical site infections in the study by Wałaszek and Słowik, accounting for 5.4% of cases, primarily following hip prosthesis implantation procedures [15]. *P. aeruginosa* was also identified in neurosurgical patients by Rafa and Kołpa in 2022 [14]. It accounted for 4% of all cases in that study and was primarily associated with surgical site infections [14].

In the presented study, *Klebsiella* was detected in 5 out of 12 tourniquets. In the research conducted by Rafa and Wałaszek (2021), *Klebsiella pneumoniae* was responsible for 16.3% of reported healthcare-associated infections (HAIs), primarily associated with urinary tract infections (UTIs) [13]. In the study by Wałaszek and Słowik, *Klebsiella pneumoniae* caused 10.8% of infections [15]. Additionally, in the 2022 study by Rafa and Kołpa, *Klebsiella* accounted for 12% of infections, mainly postoperative wound infections and UTIs [14].

Staphylococcus aureus was detected on only one tourniquet, and it was associated with skin and soft tissue infections in 42.8% of cases in studies conducted in the Polish ICU [12]. Among neurosurgical patients in a study conducted by Rafa and Kołpa (2022), *Staphylococcus aureus* was responsible for 11.5% of infections, primarily bloodstream infections and surgical site infections [14].

The presence of pathogens associated with healthcare-associated infections on tourniquets represents a significant challenge in the treatment of patients in Polish hospitals. Infections caused by these bacteria have been documented across various hospital departments and patient populations.

A total of 12 bacterial species potentially capable of antibiotic resistance were identified on the surface of reusable tourniquets. These pathogens pose a significant risk, as they are resistant to multiple classes of antibiotics, complicating the treatment of healthcare-associated infections. The identified potentially antibiotic-resistant species include *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Enterobacter quasihormaechei*, *Acinetobacter lwoffii*, *Klebsiella variicola*, *Shewanella algae*, *Serratia liquefaciens*, *Serratia fonticola*, and *Staphylococcus aureus*. Additionally, 16 bacterial species capable of forming biofilms were identified on tourniquet surfaces. Biofilm formation is a significant survival strategy that enhances bacterial persistence and resistance to antimicrobial treatments, including disinfectants. Among them, *Acinetobacter baumannii* can exhibit resistance to carbapenems (e.g., imipenem, meropenem), cephalosporins (e.g., ceftriaxone), aminoglycosides (e.g., gentamicin), fluoroquinolones (e.g., ciprofloxacin), tetracyclines, and sometimes polymyxins, making it challenging to treat with conventional antibiotics. Additionally, *A. baumannii* forms robust biofilms on surfaces, which increase its resistance to disinfectants and its ability to survive on medical devices. It is also known to survive on dry surfaces, such as medical tourniquets, for extended periods [16]. *Pseudomonas aeruginosa* is known for resistance to carbapenems (e.g., meropenem), aminoglycosides, cephalosporins, fluoroquinolones, and occasionally polymyxins, due to its intrinsic and acquired resistance mechanisms. It forms biofilms, complicating removal through standard cleaning protocols, and can survive in both moist and dry environments, making it a persistent contaminant on medical equipment [17]. *Klebsiella pneumoniae* produces extended-spectrum beta-lactamases (ESBLs) and carbapenemases, resulting in resistance to beta-lactam antibiotics, including cephalosporins and carbapenems. Additionally, resistance to aminoglycosides may occur via other mechanisms, such as the presence of the *armA* gene [18]. It also forms biofilms that enhance its survival on surfaces, adding to the difficulty of complete disinfection. While both *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* can exhibit resistance to vancomycin (VRE), aminoglycosides, and certain beta-lactams, the vast majority of VRE isolates are *E. faecium*, which tends to be more antibiotic-resistant than *E. faecalis* [19]. It was also proven that it can withstand a range of pH and temperature conditions, increasing its resilience in healthcare settings [19]. *Stenotrophomonas maltophilia* displays intrinsic resistance to carbapenems, aminoglycosides, beta-lactams, and fluoroquinolones, which limits available treatment options [20]. It is known to form biofilms on various surfaces, complicating elimination. Environmental Adaptability: It is capable of surviving in diverse conditions, including low-oxygen environments, which aids in its persistence on reusable medical equipment. *Staphylococcus aureus*, especially methicillin-resistant strains (MRSA), exhibits resistance to nearly all beta-lactam antibiotics, including penicillins and cephalosporins, and frequently shows resistance to macrolides, lincosamides, aminoglycosides, fluoroquinolones, and tetracyclines (Tong et al., 2015) [21]. The presence of *S. aureus*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, and *E. faecalis* on reusable tourniquets aligns with previous studies, which have also reported contamination of these devices with potential healthcare-associated pathogens [22,23]. Such bacteria are known to cause catheter-related bloodstream infections (CRBSI) and peripheral venous catheter-related bloodstream infections (PVCBSI), both of which are significant causes of morbidity in hospitalized patients. Lastly, CRBSI and PVCBSI are most associated with *S. aureus* (including MRSA), coagulase-negative *Staphylococci*, *Enterococcus* spp., *Klebsiella* spp., and *P. aeruginosa*. The contamination of reusable tourniquets with these microorganisms poses a potential risk for cross-contamination during vascular access procedures. Improper handling of tourniquets may transfer bacteria to the patient's skin or catheter insertion site, increasing the likelihood of infection [24–26].

These findings underscore the challenges in maintaining sterile conditions with reusable medical devices such as tourniquets, especially given the presence of multidrug-resistant and biofilm-forming pathogens that are difficult to eliminate. These results highlight the necessity for rigorous disinfection protocols or consideration of single-use alternatives to minimize healthcare-associated infection risks.

Given these findings, our study reinforces the urgent need for single-use tourniquets or the development of validated disinfection protocols for reusable devices. Current manufacturer guidelines provide inconsistent recommendations regarding tourniquet decontamination, and, in some cases, fail to mention disinfection procedures at all. To reduce the risk of healthcare-associated infections (HAIs), it is critical to establish evidence-based infection control measures that include tourniquets as potential vectors of pathogen transmission.

Furthermore, the detection of multidrug-resistant species, including *Stenotrophomonas* and *Acinetobacter*, highlights the risk posed by persistent contamination of reusable medical equipment. Future research should evaluate the efficacy of various disinfection methods and assess the long-term microbial burden on reusable tourniquets in different clinical settings. While this study focused on reusable tourniquets as potential reservoirs for pathogens, it is important to acknowledge that other frequently handled medical devices similarly contribute to nosocomial transmission. Medication administration tools—including pillboxes, medication carts, and dispensing systems—have been documented as significant fomites carrying multidrug-resistant organisms. For instance, a study of medication preparation areas found that 33% of surfaces harbored pathogenic bacteria, with contamination patterns directly correlating with handling frequency. Like tourniquets, these devices experience high-touch contact without consistent disinfection protocols between uses. This parallel underscores a systemic challenge in healthcare settings: porous materials and complex surfaces on commonly reused equipment create persistent reservoirs for pathogens. Our findings on tourniquet contamination should, therefore, inform broader infection control strategies targeting all high-risk fomites, particularly those with textured surfaces that impede effective cleaning [27].

5. Limitations

The use of 16S rRNA sequencing provides taxonomic identification but does not differentiate between live and dead bacteria or determine antibiotic resistance profiles. The absence of negative controls (e.g., unused tourniquets) limits direct comparisons of disinfection efficacy. However, this aligns with this study's focus on contamination dynamics in actively used clinical devices. Finally, variations in environmental conditions and handling practices across hospital departments may have influenced the level of microbial contamination. In this study, we did not monitor the way staff handled the tourniquets, which also included the possible use of disinfectants. Additionally, the relatively small sample size ($n = 12$) may limit the generalizability of our findings to other clinical settings. Future studies should include larger sample sizes and systematically document handling and disinfection protocols to better assess the factors influencing tourniquet contamination. Moreover, while switching to single-use tourniquets can reduce the risk of cross-contamination, this approach presents additional challenges. Disposable tourniquets are typically made from non-biodegradable plastics, contributing to environmental pollution and increased carbon footprint. On the other hand, insufficiently disinfected reusable tourniquets may facilitate the transmission of healthcare-associated infections (HAIs), which are associated with substantial treatment costs. The economic burden of managing a single HAI episode may far exceed the cost of implementing disposable alternatives. Therefore, future research should also consider the environmental impact of

disposable tourniquets and perform comprehensive cost–benefit analyses to guide infection control strategies in different healthcare settings.

6. Conclusions

Metagenomic analysis of reusable tourniquets revealed a consistent presence of clinically relevant pathogens (HAI), including *Klebsiella* spp., *Enterococcus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Acinetobacter* spp.

Tourniquets sampled from operating theatres showed greater taxonomic diversity, suggesting variability in contamination dynamics driven by departmental usage patterns and disinfection practices. Cluster and diversity analyses further indicated that the highest genera diversity was exclusive to operating theatre tourniquets, although high contamination was not always associated with increased diversity.

The frequent detection of potentially biofilm-forming and antibiotic-resistant bacteria underscores the limitations of current decontamination protocols. The findings strongly support the implementation of standardized sterilization procedures or the adoption of single-use tourniquets to mitigate the risk of cross-contamination and reduce the transmission of multidrug-resistant pathogens in clinical settings. However, the feasibility of widespread single-use tourniquet adoption requires careful consideration of resource constraints, particularly in low-income settings where cost and supply chain limitations may pose significant barriers. Healthcare systems should balance infection control priorities with local economic realities when implementing these recommendations.

7. Implications for Practice

Reusable tourniquets represent an underestimated vector for the transmission of healthcare-associated pathogens, including multidrug-resistant and biofilm-forming bacteria. The findings underscore the necessity of integrating tourniquet management into infection prevention strategies. Transitioning to single-use devices or establishing standardized, evidence-based disinfection protocols is essential to limit microbial persistence and cross-contamination in high-risk clinical settings. Incorporating these practices may contribute to a measurable reduction in the incidence of hospital-acquired infections, particularly in departments with high patient turnover and invasive procedures.

Author Contributions: Conceptualization, J.S. and W.M.-D.; methodology, W.M.-D., M.J., M.K., and K.Z.; data curation, J.S. and M.J.; analysis, J.S., M.J., and M.K.; writing—original draft preparation, J.S., M.J., and M.K.; writing—review and editing, J.S., M.K., M.J., W.M.-D., and K.Z.; visualization, W.M.-D. and K.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors declare that they received financial support for the research, authorship, and/or publication of this article. This study was funded by the Medical University of Gdańsk through the “Support of Student Scientific Circles” grant program (project number: 01-64024); the Division of Anaesthesiology Nursing and Intensive Care, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdańsk (ST project: 01-30025/0008334/01); and the Division of Immunobiology and Environmental Microbiology, Faculty of Health Sciences, Medical University of Gdańsk (ST project number: 01-30025).

Institutional Review Board Statement: The project was approved by the Independent Bioethics Committee for Research of the Medical University of Gdansk (decision no. KB/45/2024, 29 February 2024).

Informed Consent Statement: The authors will make the raw data on which the conclusions in this article are based available without undue reservation upon request.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors on request.

Acknowledgments: We would like to thank Agnieszka Kijewska, who was involved in planning this study and supporting the research.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. World Health Organization. *Guidelines for the Prevention of Bloodstream Infections and Other Infections Associated with the Use of Intravascular Catheters. Part I: Peripheral Catheters*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2024.
2. Szymczyk, J.; Månsson, M.; Mędrzycka-Dąbrowska, W. Reusable Tourniquets for Blood Sampling as a Source of Multi-Resistant Organisms—A Systematic Review. *Front. Public Health* **2023**, *11*, 1258692. [\[CrossRef\]](#)
3. Parreira, P.; Serambeque, B. Impact of an Innovative Securement Dressing and Tourniquet in Peripheral Intravenous Catheter-Related Complications and Contamination: An Interventional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 3301. [\[CrossRef\]](#)
4. Salgueiro-Oliveira, A.; Oliveira, V.; Costa, P.; Gama, F.; Graveto, J.; Parreira, P.; Osório, N. Tourniquets Used in Peripheral Venipuncture as a Potential Vehicle for Transmission of Microorganisms: Scoping Review. *Infectio* **2020**, *24*, 93. [\[CrossRef\]](#)
5. Culjak, M.; Gveric Grginic, A.; Simundic, A.M. Bacterial Contamination of Reusable Venipuncture Tourniquets in Tertiary-Care Hospital. *Clin. Chem. Lab. Med.* **2018**, *56*, e201. [\[CrossRef\]](#)
6. Natarajan, A.; Das, S.; Chaudhary, N. Microbial Profile of Tourniquets Used in Phlebotomy at a Rural Tertiary Care Teaching Hospital. *Cureus* **2023**, *15*, e49328. [\[CrossRef\]](#)
7. Stringer, B.; Infante, T.D.; Fainstein, V. Bacterial Contamination of Tourniquets Used in Routine Blood Collection. *Am. J. Infect. Control* **2011**, *39*, 744. [\[CrossRef\]](#)
8. Szymczyk, J.; Kurpas, M.; Krasinski, B.; Zorena, K.; Mędrzycka-Dąbrowska, W. Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis. *Microorganisms* **2025**, *13*, 152. [\[CrossRef\]](#)
9. Field, N.; Cohen, T. Strengthening the Reporting of Molecular Epidemiology for Infectious Diseases (STROME-ID): An Extension of the STROBE Statement. *Lancet Infect. Dis.* **2014**, *14*, 341. [\[CrossRef\]](#)
10. European Centre for Disease Prevention and Control. *Point Prevalence Survey of Healthcare-Associated Infections and Antimicrobial Use in European Acute Care Hospitals*; ECDC: Stockholm, Sweden, 2024.
11. Mędrzycka-Dąbrowska, W.; Lange, S.; Zorena, K.; Dąbrowski, S.; Ozga, D.; Tomaszek, L. Carbapenem-Resistant *Klebsiella pneumoniae* Infections in ICU COVID-19 Patients—A Scoping Review. *J. Clin. Med.* **2021**, *10*, 2067. [\[CrossRef\]](#)
12. Duszyńska, W.; Litwin, A. Analysis of *Acinetobacter baumannii* Hospital Infections in Patients Treated at the Intensive Care Unit of the University Hospital, Wrocław, Poland: A 6-Year, Single-Center, Retrospective Study. *Infect. Drug Resist.* **2018**, *11*, 629. [\[CrossRef\]](#)
13. Rafa, E.; Wałaszek, M.Z. The Incidence of Healthcare-Associated Infections, Their Clinical Forms, and Microbiological Agents in Intensive Care Units in Southern Poland in a Multicentre Study from 2016 to 2019. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 2238. [\[CrossRef\]](#)
14. Rafa, E.; Kołpa, M. Healthcare-Acquired Infection Surveillance in Neurosurgery Patients, Incidence and Microbiology, Five Years of Experience in Two Polish Units. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 7544. [\[CrossRef\]](#)
15. Wałaszek, M.Z.; Słowik, R. Five-Year Analysis of Surgical Site Infections in Three Orthopaedics and Trauma Wards under HAI-Net from the South of Poland in 2014–2018 Considering the Standardized Infection Ratio. *Medicina* **2022**, *58*, 682. [\[CrossRef\]](#)
16. Antunes, L.C.; Visca, P.; Towner, K.J. *Acinetobacter baumannii*: Evolution of a Global Pathogen. *Pathog. Dis.* **2014**, *71*, 292. [\[CrossRef\]](#)
17. Pang, Z.; Raudonis, R.; Glick, B.R.; Lin, T.J.; Cheng, Z. Antibiotic Resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms and Alternative Therapeutic Strategies. *Biotechnol. Adv.* **2019**, *37*, 177. [\[CrossRef\]](#)
18. Wyres, K.L.; Holt, K.E. *Klebsiella pneumoniae* as a Key Trafficker of Drug Resistance Genes from Environmental to Clinically Important Bacteria. *Curr. Opin. Microbiol.* **2018**, *45*, 131. [\[CrossRef\]](#)
19. Fiore, E.; Van Tyne, D.; Gilmore, M.S. Pathogenicity of Enterococci. *Microbiol. Spectr.* **2019**, *7*, GPP3-0053-2018. [\[CrossRef\]](#)
20. Looney, W.J.; Narita, M.; Mühlemann, K. *Stenotrophomonas maltophilia*: An emerging opportunist human pathogen. *Lancet Infect. Dis.* **2009**, *9*, 312–323. [\[CrossRef\]](#)
21. Tong, S.Y.C.; Davis, J.S.; Eichenberger, E.; Holland, T.L.; Fowler, V.G., Jr. *Staphylococcus aureus* Infections: Epidemiology, Pathophysiology, Clinical Manifestations, and Management. *Clin. Microbiol. Rev.* **2015**, *28*, 603. [\[CrossRef\]](#)
22. Elhassan, H.A.; Dixon, T. MRSA Contaminated Venepuncture Tourniquets in Clinical Practice. *Postgrad. Med. J.* **2012**, *88*, 194. [\[CrossRef\]](#)
23. Golder, M.; Chan, C.L.; O'Shea, S.; Corbett, K.; Chrystie, I.L.; French, G. Potential Risk of Cross-Infection during Peripheral-Venous Access by Contamination of Tourniquets. *Lancet* **2000**, *355*, 44. [\[CrossRef\]](#)
24. Zhang, L.; Cao, S.; Marsh, N.; Ray-Barruel, G.; Flynn, J.; Larsen, E.; Rickard, C.M. Infection Risks Associated with Peripheral Vascular Catheters. *J. Infect. Prev.* **2016**, *17*, 207. [\[CrossRef\]](#)

25. Choudhury, M.A.; Marsh, N.; Banu, S.; Paterson, D.L.; Rickard, C.M. Molecular Comparison of Bacterial Communities on Peripheral Intravenous Catheters and Matched Skin Swabs. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0146354. [[CrossRef](#)]
26. Mermel, L.A. Short-Term Peripheral Venous Catheter-Related Bloodstream Infections: A Systematic Review. *Clin. Infect. Dis.* **2017**, *65*, 1757. [[CrossRef](#)]
27. Weber, D.J.; Anderson, D.; Rutala, W.A. The role of the surface environment in healthcare-associated infections. *Curr. Opin. Infect. Dis.* **2013**, *26*, 338–344. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

OŚWIADCZENIA WSPÓŁAUTORÓW

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

prof. dr hab. Wioletta Dąbrowska-Mędrzycka

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. ***Wielorazowe stazy: wyzwania, bezpieczeństwo i potrzeba zmian w praktyce klinicznej*** oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: projekt badania, przygotowanie manuskryptu pracy, udział w pozyskiwaniu finansowania oraz dobór metody badań.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

prof. dr hab. Wioletta Dąbrowska-Mędrzycka

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: konceptualizacja, metodologia, pisanie - recenzja i redakcja oraz wizualizacja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

prof. dr hab. Wioletta Dąbrowska-Mędrzycka

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: konceptualizacja, metodologia, pisanie. - recenzja i redakcja oraz wizualizacja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

prof. dr hab. Wioletta Dąbrowska-Mędrzycka

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Reusable tourniquets for blood sampling as a source of multi-resistant organisms- a systematic review* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: konceptualizacja, metodologia, wizualizacja, pisanie - przegląd i edycja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

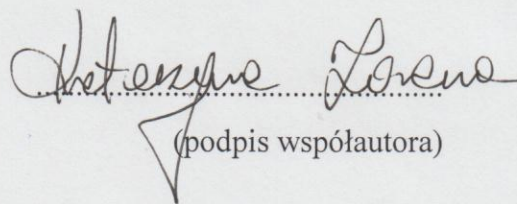
prof. dr hab. Katarzyna Zorena

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie w/w publikacji polegał na współudziale w opracowaniu metodologii, pisaniu, recenzji oraz kompleksowej wizualizacji manuskryptu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.


(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

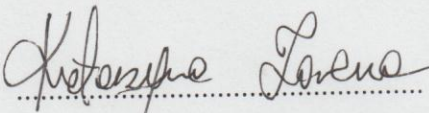
prof. dr hab. Katarzyna Zorena

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to współudział w opracowaniu metodologii, pisaniu, recenzji oraz kompleksowej wizualizacji manuskryptu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.


.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

dr Monika Kurpas

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: metodologia, analiza, pisanie - przygotowanie oryginalnego projektu oraz pisanie - recenzja i redakcja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

.....

(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

dr Monika Kurpas

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Reusable Tourniquets as Potential Transmitters of Infection: A Microbiological Analysis* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: metodologia, analiza, pisanie - przygotowanie oryginalnego projektu oraz pisanie - recenzja i redakcja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

.....

(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 31.10.2025 r.

dr inż. Marta Jaskulak

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Metagenomic Analysis of Bacterial Diversity on Reusable Tourniquets in Hospital Environments* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: metodologia, gromadzenie danych, analiza, pisanie - przygotowanie oryginalnego projektu oraz pisanie - recenzja i redakcja.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie ww. pracy przez **lic. piel. Julię Szymczyk** jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład **lic. piel. Julię Szymczyk**, obejmujący udział w opracowaniu koncepcji badania, wykonaniu części eksperymentalnej, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, a także w przygotowaniu manuskryptu artykułu – w tym opracowaniu jego struktury, redakcji merytorycznej, opracowaniu części wstępnej, materiałów i metod, wyników oraz dyskusji.

Dr inż. Marta Jaskulak
Adiunkt
GDŃSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY
Zakład Immunologii i Mikrobiologii Rodowiska
80-211 Gdańsk, ul. Dębinki 7
Tel.: 58 349 17 68
(podpis współautora)