WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA *HELICOBACTER PYLORI* I INNE MIKROORGANIZMY

I.B. Zhakun

Danylo Halytsky Lwowski Narodowy Uniwersytet Medyczny

Streszczenie. *W pracy przedstawiono mechanizmy wpływu pól magnetycznych i elektrycznych na żywotność mikroorganizmów, w szczególności Helicobacter pylori.*

Słowa kluczowe: *Helicobacter pylori, mikroorganizmy, pole elektryczne, pole magnetyczne, żelazo, metaloproteiny, magnetowrażliwość.*

Mikroorganizmy składające się ze związków organicznych i nieorganicznych mają pewne właściwości magnetyczne (Frankel R.B. i in., 1997; Keim C.N. i in., 2004; Greenberg M. i in., 2005). Ponieważ wszystkie związki są podzielone na silnie i słabo magnetyczne w zależności od ich właściwości magnetycznych, można założyć, że stopień magnetyzmu bakterii będzie się różnił w zależności od składu pierwiastkowego ich składników komórkowych (Arnesano F. i in., 2005).

Magnetyzm składników komórek bakteryjnych jest od dawna wykorzystywany do badania struktury mikroorganizmów (Evans M.S. i in., 1970; Ste- phens P.J. i in., 1978). Zależność badanego związku od stopnia powinowactwa do pola magnetycznego pozwalała na badanie struktury przestrzennej cząsteczek, zmian molekularnych i jonowych podczas reakcji biochemicznych (Antanaitis B.C., Moss T.H., 1975; Johnson M.K. i in., 1981). Eksperymenty te zostały przeprowadzone przy użyciu metod opartych na zjawiskach magnetyzmu składników komórek bakteryjnych. Elektronowy rezonans paramagnetyczny i spektroskopia Mössbauera pozwoliły na określenie zjawiska magnetyzmu statycznego reakcji jonów żelaza w bakterii *Rhodopseu domonas sphaeroides* (Butler W.F. i in., 1980). Badając właściwości magnetyczne składników komórek tego samego mikroorganizmu, W.F. Butler i współautorzy w 1984 roku opisali wpływ pól magnetycznych na konfigurację przestrzenną związków mikroorganizmu zawierających żelazo.

Ciekawym i użytecznym odkryciem było bakteriobójcze działanie pól elektromagnetycznych, które później wykorzystano w higienie żywności. Stwierdzono, że zastosowanie impulsowych pól elektromagnetycznych w obróbce płynnych produktów spożywczych w połączeniu ze związkami biochemicznymi (nizyna, lizozym) i niską temperaturą daje znacznie lepsze wyniki pod względem działania bakteriobójczego w porównaniu z konwencjonalną sterylizacją lub pasteryzacją (Rodrigo D. i in., *2003a*; Cortés C. i in., 2006; Sentandreu E. i in., 2006). D. Rodrigo i współpracownicy (*2003b*) odnotowali statystycznie istotną inaktywację *bakterii Escherichia coli (E. coli*) w soku pomarańczowym po zastosowaniu impulsowego pola elektrycznego.

M.R. Terebiznik i współautorzy (2000) również donoszą o znaczącej aktywności bakteriobójczej impulsowych pól elektrycznych przeciwko *E. coli* w terenie. Badacze uważają ten rodzaj pola za naturalny środek przeciwdrobnoustrojowy. M. Terebiznik i współautorzy (2002) donoszą o skuteczności kombinacji pól elektrycznych z użyciem nizyny w inaktywacji *E. coli.* Z. Liang i współpracownicy (2002) również wskazują na bakteriobójcze właściwości impulsowego pola elektrycznego wobec *Salmonella typhimurium* w soku owocowym. Podobne

Opisano również zjawiska inaktywacji *Listeria innocua, Micrococcus luteus, Lactobacillus plantarum* w sokach owocowych i mleku (Calderón-Miranda i in., 1999; Dutreux N. i in., 2000; Rodrigo D. i in., 2001). Ponadto, stosowanie impulsowych pól elektrycznych jest skuteczne w zapobieganiu rozprzestrzeniania się *Pseudomonas aeruginosa* (Jass J. i in., 1995; Perez-Roa R.E. i in., 2006). N. Wellman i współautorzy (1996) wyjaśniają ten bakteriobójczy efekt pola elektrycznego poprzez "efekt bioelektryczny" pola. P. Stoodley i współautorzy (1997) donoszą, że największy efekt antybakteryjny przejawia się przy anodowym ładunku pola, kiedy to liczba kolonii bakterii *Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa* i *Pseudomonas fluorescens* zmniejszyła się o 74%. Autorzy tłumaczą ten fakt oddziaływaniem elektrostatycznym pomiędzy ujemnie naładowanymi cząsteczkami kolonii bakterii a polem elektrycznym.

Zastosowanie pól elektromagnetycznych ma przewagę nad konwencjonalnymi metodami termicznymi również dlatego, że pozwala zachować znacznie wyższą zawartość witaminy A, innych karotenoidów, witamin i białek w sokach owocowych i mleku (Torregrosa F. i in., 2005).

E. coli jest najbardziej przebadanym obiektem spośród wszystkich mikroorganizmów pod względem wpływu na nie pól magnetycznych. W wyniku badań przeprowadzonych przez C. $^{-3}$ Ramona i współautorów (1981) stwierdzono, że ekspozycja na słabe pole magnetyczne o natężeniu 2-10 T podczas sześćdziesięciogodzinnej ekspozycji zmniejsza liczbę bakterii *E. coli* o ponad 40%. W tym przypadku mikroskopia elektronowa wykazała uszkodzenie ścian komórkowych bakterii. Potwierdzając bakteriobójczy wpływ pola magnetycznego na szczep GE499 *E. coli*, I.Y. Belyaev, E.D. Alipov (2001) próbowali ustalić optymalne okno częstotliwości. Naukowcy odnotowali najbardziej efektywną częstotliwość 9 i 16 Hz, ale różniła się ona nieznacznie od optymalnej częstotliwości dla innych szczepów *E. coli* i okna częstotliwości pola magnetycznego dla ludzkich limfocytów w eksperymencie. Wierzymy, że dalsze badania pozwolą nam dokładniej zindywidualizować parametry bakteriobójczego działania pola magnetycznego.

O.R. Justo i współpracownicy (2006) poinformowali, że ekspozycja na pole magnetyczne o ultra niskiej częstotliwości 0,1 T przez 6,5 godziny spowodowała prawie 100-krotny spadek żywotności *bakterii E. coli* w porównaniu z grupą kontrolną. Autorzy zauważyli, że może to być podstawą do leczenia polem magnetycznym. Kulyash i współautorzy (1998) poinformowali, że pola magnetyczne o ultra niskiej częstotliwości również znacząco hamują wzrost gronkowców.

Zgodnie z literaturą, stałe pola magnetyczne w zakresie terapeutycznym mają również podobne właściwości bakteriobójcze, co prowadzi do ich powszechnego stosowania w praktyce medycznej. S. Zhang i współautorzy w 2002 roku wskazali, że statyczne pola magnetyczne prowadzą do zaburzeń kinetyki wzrostu *E. coli* proporcjonalnie do natężenia pola magnetycznego.

W 2004 r. H. Yavuz i S.S. Celebi donieśli, że pola magnetyczne o natężeniu 8,9-17,8 mT znacząco zmniejszają tempo wzrostu mikroflory w wodzie. Według R.S. Stepanian i współautorów, stopień utraty żywotności mikroorganizmów pod wpływem pola magnetycznego (2000), zależy od jego częstotliwości. Autorzy zauważają, że tylko pola magnetyczne o niskiej częstotliwości mają działanie antybakteryjne. W eksperymencie częstotliwość pola magnetycznego 4 Hz zmniejszyła żywotność *bakterii E.* coli o 20%. Po ekspozycji na pole magnetyczne o tej częstotliwości, bakterie E. coli straciły zdolność do podziału, wzrostu i tworzenia kolonii. Jednak częstotliwość 50 Hz doprowadziła do wzrostu żywotności bakterii o 53%. A. Mahdi i współautorzy (1994) zauważyli, że ekspozycja na statyczne pola magnetyczne o natężeniu 0,3-0,5 T spowodowała, że *E. coli* utraciła zdolność do naprawy własnego DNA. Bakteriobójczy wpływ pól magnetycznych na *E. coli* został potwierdzony w wielu innych badaniach (Binhi V.N. et al., 2001; Strasák L. et al., 2002).

Wpływ stałych pól magnetycznych na inne mikroorganizmy również objawia się działaniem bakteriobójczym. E. Piatti i współautorzy (2002) donieśli o skuteczności statycznych pól magnetycznych niskiej częstotliwości na *Serratia marcescens*. Autorzy uważają, że zastosowanie pól magnetycznych powoduje stres oksydacyjny w komórce bakteryjnej, tym samym znacznie zmniejszając jej zjadliwość. Przeciwdrobnoustrojowe działanie pól magnetycznych zostało również udowodnione na *Micrococcus denitrificans, My cobacterium tuberculosis* i *Candida albicans* (Thiemann W., Wagner E., 1970; Lomachenkov V.D. et al., 1998). Ostatnio pojawiły się doniesienia o wpływie pól magnetycznych niskiej częstotliwości na wirusy. Na przykład, F. Pica i współpracownicy (2006) opisali wpływ pola magnetycznego na herpeswirus związany z mięsakiem Kaposiego. Autorzy wskazują, że po ekspozycji na pole magnetyczne wirus wytwarza głównie wadliwe cząsteczki wirusowe.

Tak więc stopień bakteriobójczego działania statycznych pól magnetycznych zależy od ich parametrów, a mianowicie czasu, natężenia pola magnetycznego i czasu trwania ekspozycji. Pola magnetyczne o niskiej częstotliwości i niskim natężeniu okazały się najbardziej optymalne do stosowania w praktyce medycznej.

Pola magnetyczne wywierają działanie bakteriobójcze poprzez hamowanie wzrostu bakterii, wpływając na parametry biokinetyczne komórki mikroorganizmu i parametry kinetyczne jego wzrostu, zmniejszając zdolność do podziału i naprawy DNA, wywołując stres oksydacyjny w komórkach bakteryjnych, wpływając na ich ścianę komórkową itp.

Mechanizmy działania pola magnetycznego na bakterie nie są jeszcze dobrze poznane, ale wiadomo, że pola magnetyczne mogą wpływać na procesy metaboliczne i enzymatyczne komórki bakteryjnej, a tym samym mieć działanie bakteriobójcze. L. Strasák i współautorzy (2002), badając wpływ "jednorodnych" i "niejednorodnych" statycznych pól magnetycznych niskiej częstotliwości na *E. coli*, zauważyli, że oprócz wpływu na wzrost mikroorganizmów, pola magnetyczne powodowały znaczny spadek aktywności oksydoredukcyjnej bakterii. L. Fojt i współautorzy (2007) odnotowali znaczący i wiarygodny spadek aktywności enzymatycznej (denitryfikacji) *puszek Paracoccus denitrifi* o 20% w wyniku ekspozycji na pole magnetyczne o natężeniu 10 mT i częstotliwości 50 Hz przez 24 minuty. Naukowcy zauważyli, że 21% bakterii zginęło po ekspozycji.

P. P. Ellaiah i współpracownicy (2003) donieśli, że pola magnetyczne o niskiej częstotliwości są w stanie stymulować syntezę

neomycyny *przez Streptomyces marinensis*. S. Zhang i współpracownicy (2004) stwierdzili, że statyczne pola magnetyczne mają hamujący wpływ na aktywność lizozymu w komórkach bakteryjnych, co korelowało ze spadkiem liczby bakterii. Efekt ten zależał od intensywności i czasu trwania namagnesowania. D.C. Yin i współautorzy (2003) stwierdzili, że pola magnetyczne mogą zmniejszać współczynnik dyfuzji cząsteczek lizozymu, co może być przyczyną rozcieńczania frakcji białkowych i przemieszczania się lizozymu zgodnie z gradientem stężeń.

Obecnie w literaturze pojawiają się doniesienia, że pola magnetyczne mogą wpływać na strukturę i przepuszczalność błon komórkowych, w szczególności mikroorganizmów. Na przykład V.N. Binhi i współautorzy (2001), badając wpływ pól magnetycznych na *E. coli*, wskazują, że powodują one rotację kompleksów jonowo-białkowych, co z kolei może zmieniać funkcjonowanie błon komórkowych bakterii. S. Hughes i współautorzy (2005) odnotowali wpływ statycznych pól magnetycznych na spadek aktywności bakteryjnych kanałów jonowych. Mechanizm tego zjawiska autorzy tłumaczą zmianą właściwości błon komórkowych na skutek diamagnetyzacji cząsteczek lipidów. A. Radhakrishnan,
H.M. McConnell (2000) wskazał, że ekspozycja na pola elektryczne może prowadzić do destabilizacji kompleksów dihydrocholesterolu i fosfolipidów monowarstwy błony komórkowej.

Pola magnetyczne mogą zatem wpływać na aktywność enzymatyczną mikroorganizmów oraz strukturę i funkcję błon komórkowych bakterii, co może objawiać się naruszeniem ich przepuszczalności i funkcji.

Badania kliniczne sugerują bakteriobójczy lub bakteriostatyczny wpływ pól magnetycznych *na Helicobacter pylori (HP)*, chociaż w literaturze nie ma wyczerpujących danych na ten temat. Niektórzy autorzy donoszą o pozytywnym wpływie pól elektromagnetycznych w leczeniu pacjentów z patologią gastroenterologiczną związaną z *HP* (Filimonov R.M. i in., 1993) i zalecają pola elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości jako patogenetyczną metodę terapii *infekcji HP* (Filimonov R.M. i in., 1998). Starodub E.M. i współautorzy (1994) wskazują, że zastosowanie pól elektromagnetycznych w leczeniu pacjentów z chorobą wrzodową może zmniejszyć rozprzestrzenianie się *HP* w błonie śluzowej żołądka. Badając ogólną magnetoterapię w kompleksowym leczeniu wrzodów żołądka i dwunastnicy, niektórzy autorzy (Puttsenko V.A. i in., 2004) stwierdzili, że zastosowanie pola magnetycznego przyspiesza proces eradykacji *HP*.

Chociaż dane z powyższych badań wpływu pól elektromagnetycznych zostały przeprowadzone na różnych mikroorganizmach (najczęściej na *E. coli*), można założyć, że proponowane mechanizmy wyjaśniają również bakteriobójczy wpływ pól magnetycznych na *HP*.

Związek między zakażeniem *HPV* a niedokrwistością z niedoboru żelaza jest szczególnie interesujący. Wiadomo, że żelazo ma silne właściwości magnetyczne (ferromagnetyczne). Ferromagnetyki to grupa substancji, które mają spontaniczne właściwości magnetyczne. magnetyzmu, tj. namagnesowane pod nieobecność pola magnetycznego i, odpowiednio, w polu magnetycznym, wykazują szczególne właściwości (Berkutov A.M. et al., 2000). Wiadomo, że pole magnetyczne o różnych parametrach ma różny wpływ na ferromagnetyki. W szczególności kierunek momentu magnetycznego wpływa na szybkość niszczenia żelaza i niklu pod wpływem pola magnetycznego (Tang Y.C. i in., 2003). Szczególnie interesujący jest fakt osadzania się żelaza w *HP* i obecność niklu w bakteryjnym enzymie ureazie (van Vliet A.H. i in., 2001). Wielu autorów ustaliło ścisły związek między metabolizmem żelaza i niklu w *HP*, jego wpływem na syntezę ureazy i innych czynników wirulencji *HP* (van Vliet A.H. i in., 2001; van Vliet A.H. i in., 2003; Belzer C. i in., 2007).

Dla lepszego zrozumienia mechanizmów oddziaływania pól magnetycznych na *HP*, rozważmy bardziej szczegółowo sposoby, w jakie bakteria ta reguluje homeostazę metali. Funkcja wpływania na metabolizm metali za pomocą różnych aktywnych substancji białkowych jest zdeterminowana genetycznie i jest realizowana przez różne czynniki, które wzmacniają lub osłabiają transkrypcję odpowiednich części genomu *HP* (van Vliet A.H. i in., 2002; van Vliet A.H. i in., *2004a*, *b*; Ernst F.D. i in., 2006). W celu zbadania struktury genomu *HP*, który jest odpowiedzialny za metabolizm metali, funkcje i działanie bioaktywnych peptydów, naukowcy wykorzystali metody polegające na tworzeniu mutacji genomu *HP* i badaniu ich skutków (Davies B.J. i in., 2002; Cróinín T.O. i in., 2007).

Mechanizmy wpływu pól magnetycznych na *HP* nie są dobrze poznane, jednak w ostatnich latach prowadzone są intensywne badania nad związkiem *infekcji HP* z niedoborem żelaza w organizmie. Wielu badaczy wskazuje na zależność zaburzeń metabolizmu żelaza od nasilenia *zmian HP* błony śluzowej żołądka. Głównym objawem zaburzeń równowagi żelaza jest niedokrwistość z niedoboru żelaza, która często jest oporna na konwencjonalną terapię zastępczą żelazem. Takie stany sideropeniczne zostały wystarczająco zbadane u dzieci i młodzieży (Dufour C. i wsp., 1993; Carnicer J. i wsp., 1997; Marignani M. i wsp., 1997). Zależność głębokości zaburzeń metabolizmu żelaza od częstości występowania *zakażenia HP* nie została jeszcze ustalona, ponieważ niedobór żelaza w organizmie odnotowano w różnych stanach patologicznych związanych z *HP*. Jednak Z.W. Zhang i współautorzy (1998) zauważyli, że rozprzestrzenianiu się *HP* z antrum do trzonu żołądka towarzyszyły wyraźniejsze zaburzenia wchłaniania żelaza.

Wiadomo, że organizm zdrowego człowieka zawiera 4-5 g żelaza. Około 70% z nich jest potrzebne do tworzenia hemoglobiny w czerwonych krwinkach, 5-10% żelaza jest zawarte w mioglobinie i innych hemoproteinach, a 20-25% stanowi rezerwę przechowywaną w wątrobie w postaci ferrytyny i hemosyderyny. Po wchłonięciu w jelicie żelazo jest utleniane z postaci żelazawej do trójwartościowej, wiąże się z białkami i dostaje się do krwiobiegu w postaci ferrytyny i transferyny. Większa jego część jest transportowana do szpiku kostnego, gdzie syntetyzowana jest hemoglobina, a mniejsza część jest pobierana przez komórki, które mają specjalne receptory dla transferyny.

żelazowe. Są to komórki, które intensywnie rosną i dzielą się, tj. mają wysokie zapotrzebowanie na żelazo. Białka zawierające żelazo, takie jak ferrytyna, transferyna i laktoferyna, mają podstawowe znaczenie dla transportu i wchłaniania żelaza (Kurochkin A.V. i Vorobieva A.A., 2006).

Ponieważ mikroorganizmy szybko rosną i dzielą się, ich zapotrzebowanie na żelazo jest wysokie (Bullen J.J. et al., 1978). Istnieje dobrze znany związek między infekcją a zaburzonym metabolizmem żelaza w organizmie człowieka. A. Barabino (2002) opisał tak zwaną zakaźną hipofaemię - spadek zawartości żelaza komórkowego w makroorganizmie w odpowiedzi na proces zakaźny. Mechanizmy tego zjawiska nie są jeszcze dobrze poznane. Przyjmuje się, że niedobór żelaza pozakomórkowego spowodowany jest: a) zwiększoną syntezą ferrytyny w wątrobie, czyli nasileniem jej odkładania; b) uwalnianiem laktoferyny z neutrofili. Pozbawiona żelaza laktoferyna wychwytuje je z transferyny, a następnie jest wchłaniana przez krążące makrofagi, które następnie są usuwane z krążenia przez układ siateczkowo-śródbłonkowy (Bullen J.J. i in., 1991; Payne S.M., 1993). Jest to reakcja obronna, co oznacza, że makroorganizm próbuje ograniczyć mikroorganizm w żelazie w każdy możliwy sposób. To z kolei implikuje rozwój specjalnych mechanizmów aktywnego samozaopatrzenia mikroorganizmów w ten mikroelement.

Bakterie chorobotwórcze przystosowują się do takiego środowiska ograniczającego siderolimity poprzez opracowanie i wdrożenie wysoce specyficznych i wydajnych systemów asymilacji żelaza (Dhaenens L. i in., 1997). Istnieją dwa mechanizmy asymilacji żelaza przez mikroorganizmy (Husson M. et al., 1993). Niektóre z nich syntetyzują i uwalniają specyficzne s k ł a d n i k i o niskiej masie cząsteczkowej - siderofory - które wiążą białka transportujące zawierające żelazo i dostarczają żelazo do komórki bakteryjnej (Neilands J.B., 1981; Griffiths E., 1987). Inne bakterie, w tym *HP*, są zdolne do sekwestracji żelaza bezpośrednio z transferyny i laktoferyny poprzez bezpośrednie wiązanie tych białek z receptorami na zewnętrznej ścianie komórkowej bakterii (Herrington D., Sparling P., 1985; Otto B.R. et al., 1992).

Żelazo jest zatem niezbędnym i ważnym składnikiem wzrostu i rozwoju kolonii *HP* (Barabino A., 2002).

W ostatnich latach wielu naukowców badało mechanizm, za pomocą którego *HP* absorbuje żelazo z przestrzeni zewnątrzkomórkowej makroorganizmu (Husson M. i in., 1993; Dhaenens L. i in., 1997). Główną rolę w tym procesie odgrywają białka transportujące żelazo: laktoferyna i transferyna.

Laktoferyna występuje w organizmie zarówno wewnątrzkomórkowo (w neutrofilach), jak i jako część różnych płynów wydzielniczych, takich jak ślina, łzy, wydzieliny z nosa i wydzieliny jelitowe (Griffiths E., 1987). Występuje w znacznych ilościach w biopsjach błony śluzowej żołądka (Nakao K. i in., *1997a*), zwłaszcza w komórkach antrum i błony śluzowej trzonu żołądka u pacjentów z patologią żołądka i dwunastnicy *związaną z HP* (Husson M. i in., 1993). Inni badacze odnotowali wzrost zawartości laktoferyny w soku żołądkowym u pacjentów z tą patologią. Należy zauważyć, że zawartość laktoferyny w tkankach żołądka znacząco koreluje ze stopniem zapalnego uszkodzenia błony śluzowej żołądka (Nakao K. i wsp., *1997b*).

Wielu naukowców badało wpływ laktoferyny i transferryny na wzrost *HP* w środowisku pozbawionym innych źródeł żelaza. M. Husson i współautorzy napisali w 1993 r. o możliwości wspomagania wzrostu i rozwoju *HP* przez ludzką laktoferynę. Badacze sugerują, że wiąże się to z receptorami wrażliwymi na laktoferynę na ścianie komórkowej bakterii, ponieważ proces pobierania żelaza *przez HP* z laktoferyny jest wysoce specyficzny.

L. Dhaenens i współpracownicy (1997) zidentyfikowali białko zewnętrznej ściany komórkowej *HP* wiążące laktoferynę, które według autorów jest aktywnie zaangażowane w odwrotny pobór żelaza z ludzkiej laktoferyny. Porównując zdolność wiązania tego białka z laktoferyną zwierzęcą, naukowcy doszli do wniosku, że receptor laktoferyny *HP* jest wysoce specyficzny dla ludzkiej laktoferyny. Odkrycia te sugerują, że taka specyficzność receptora wiążącego laktoferynę *HP* pozwala bakterii ominąć ludzką hipofenemiczną odpowiedź obronną (Dhaenens L. i in., 1997; Barabino A., 2002). Ponieważ żelazo jest niezbędne do wzrostu i rozwoju *HP*, wielu badaczy uważa wysoką zdolność *HP* do wchłaniania żelaza za ważny czynnik wpływający na jego zjadliwość (Weinberg E.D., 1978; Dhaenens L. et al., 1997).

Tak więc *HP* zawiera znaczną ilość żelaza. Ponieważ, jak już zauważyliśmy, żelazo jest ferromagnetyczne, można założyć, że pole magnetyczne zakłóca transport żelaza w *HP* (Tang Y.C. i in., 2003). Ponadto pole magnetyczne wpływa na przepuszczalność błon bakteryjnych, transport jonów i funkcjonowanie ściany komórkowej mikroorganizmu (Radhakrishnan A., McConnell H.M., 2000; Binhi V.N. i in., 2001; Hughes S. i in., 2005).

Wysokie powinowactwo *HP* do żelaza i jego zależność od metaloprotein sugeruje, że stopień magnetyzmu tej bakterii jest nieco wyższy niż innych mikroorganizmów. Zakładamy, że pole magnetyczne może prowadzić do zakłócenia funkcji receptorów ściany komórkowej *HP*, które są odpowiedzialne za wiązanie enzymów zawierających żelazo, zmieniając jego transport do komórki i negatywnie wpływając na wzrost i podział komórek bakteryjnych.

Badanie wpływu pola magnetycznego *na HP* nie może ograniczać się do badania jego wpływu tylko na bakterię, ponieważ organizm ludzki również składa się z substancji o właściwościach magnetycznych (Berkutov A.M. i in., 2000). Wiadomo, że pola magnetyczne na makroorganizm mają działanie przeciwzapalne, przeciwobrzękowe, poprawiają krążenie krwi, przyspieszają regenerację tkanek itp. W przypadku patologii związanej z *HP* może to mieć pozytywny wpływ na proces eradykacji *HP*. Warto zauważyć, że pole magnetyczne, jak już wspomniano, może wpływać na strukturę i funkcję takich metaloprotein, jak laktoferyna i transferyna, których stężenie jest zwiększone w błonie śluzowej żołądka i soku żołądkowym u pacjentów z patologią *związaną z HP*. W ten sposób metabolizm żelaza *HP* może być również zaburzony.

Jak dotąd w literaturze brakuje wyczerpujących danych na temat wpływu pola magnetycznego na funkcjonowanie metalu

Saponja J.A., Vogel H.J. (1996) badali różnice w zdolności wiązania metaloprotein (serotransferryny, laktoferryny, ovotransferryny). W rezultacie odnotowano wyjątkowość każdego białka pod względem zdolności wiązania w zależności od siły pola magnetycznego. P.D. Allen i współautorzy (2000) przeprowadzili pierwsze badanie wrażliwości różnych rodzajów ferrytyny i hemosyderyny na pola magnetyczne o niskiej częstotliwości. Naukowcy zauważyli, że kinetykę i zachowanie tych metaloprotein w wyniku namagnesowania można uznać za supermagnetyczne. Przy pewnym spadku temperatury, w połączeniu z namagnesowaniem cząsteczek metaloprotein, wystąpiły miękkie interakcje między atomami, co doprowadziło do antyrównoległego ułożenia cząsteczek molekularnych względem ich masy magnetycznej. S.H. Bell i współautorzy (1984) również donieśli o supermagnetycznym zachowaniu hemosyderyny i ferrytyny w polu magnetycznym 10 T.

Jednym z możliwych obiektów oddziaływania pola magnetycznego może być ureaza wydzielana przez *HP*. Ureaza *HP*, która odgrywa kluczową rolę w adaptacji i przetrwaniu *HP* w kwaśnym środowisku żołądka i dlatego jest uważana za ważny czynnik wirulencji *HP* (de Jonge R. i in., 2003), jest metaloproteiną zawierającą nikiel (van Vliet A.H. i in., *2004a*, *b)*. Ureaza stanowi około 10% zawartości białka HP (van Vliet A.H. i in., 2001). Wiadomo, że nikiel wykazuje wyraźne właściwości ferromagnetyczne (Tang Y.C. i in., 2003). Dlatego uważamy, że prawdopodobieństwo wpływu pola magnetycznego na funkcję i aktywność ureazy jest niekwestionowane.

Prace van Vliet A.H. i wsp. (van Vliet A.H. i wsp., 2002; van Vliet A.H. i wsp., 2003; van Vliet A.H. i wsp., *2004a*, *b*) były kluczowe dla zrozumienia związku między metabolizmem niklu i żelaza u *HP*, jego wpływem na syntezę ureazy i innych czynników wirulencji *HP*. Istotne było odkrycie czynnika białkowego NikR oraz części genomu odpowiedzialnej za jego syntezę i aktywność (van Vliet A.H. et al., 2002). Według badaczy, NikR nie tylko zwiększa wychwyt niklu, ale także stymuluje zależną od niklu syntezę i ekspresję ureazy *HP* oraz zwiększa jej aktywność. Ponadto NikR wpływa również na aktywność innych regulacyjnych peptydów transkrypcyjnych, takich jak Fur (regulator wychwytu żelaza) (van Vliet A.H. i in., *2004a*, *b*; Belzer C. i in., 2007), a zatem jest ściśle związany z metabolizmem żelaza w *HP*. Ten ostatni fakt potwierdza również fakt, że mutacja genu Fur prowadzi do zmniejszenia ekspresji ureazy zależnej od niklu (van Vliet A.H. i in., 2001). Autorzy zauważają jednak, że ten mechanizm aktywacji syntezy ureazy jest wysoce specyficzny dla niklu, ponieważ inne metale nie powodowały podobnego wzrostu ekspresji ureazy. Zdaniem badaczy ważne jest, aby zauważyć, że aktywacja NikR zależy od dostępności niklu w środowisku żołądka, ponieważ wyniki eksperymentów wykazały, że w obecności niedoboru niklu nie występuje wzrost ekspresji ureazy. Równie ważnym czynnikiem w aktywacji NikR jest kwaśne środowisko żołądka (van Vliet A.H. et al., *2004a*, *b)*. Tak więc, według autorów, *HP* w odpowiedzi na spadek pH żołądka aktywuje kaskadę czynników regulacyjnych, a mianowicie zależny od NikR wzrost ekspresji ureazy. Zatem.

Mechanizm ten jest realizowany poprzez wiązanie białka NikR do regionów nixA i ureA genomu *HP* (Ernst F.D. i in., 2005). Według badaczy, zależne od niklu wiązanie NikR z regionem nixA genomu wywołuje represję transkrypcji i prowadzi do zmniejszenia wychwytu niklu, podczas gdy zależne od niklu wiązanie NikR z regionem ureA, który jest odpowiedzialny za stymulację syntezy i uwalniania ureazy, wywołuje wzrost ekspresji ureazy. Według F.D. Ernst i współpracownicy (2006), wiązanie NikR do regionu nixA genomu wpływa również na ekspresję tak zwanych białek błony zewnętrznej *HP* (OMP), które są odpowiedzialne za proces wychwytu niklu.

Wzrost kwasowości żołądka może również stymulować inny mechanizm obronny bakterii. *HP* może produkować amoniak nie tylko poprzez rozkład mocznika za pomocą ureazy, ale także poprzez jego syntezę z amidów, co jest katalizowane przez amidazy (amidazę AmiE i formamidazę AmiF), które również są syntetyzowane *przez HP* (van Vliet A.H. i in., 2003). Autorzy zauważają, że proces ten jest regulowany przez białko Fur i jest realizowany po jego związaniu z regionem AmiE genomu *HP*. Dla naszych badań ważne było, że proces ten jest również zależny od wymiany ferromagnetyzmu, tj. jest w stanie reagować na zastosowanie pól magnetycznych.

Tak więc homeostaza metali, w szczególności żelaza i niklu, ma ogromne znaczenie w procesach adaptacji i przetrwania *HP* w kwaśnym środowisku żołądka oraz syntezie jego czynników wirulencji (Stähler F.N. i in., 2006). Dlatego uważamy, że stosowanie pól magnetycznych poprzez wpływ na metabolizm metali, metaloprotein i ich mechanizmów regulacyjnych może zmniejszyć zjadliwość bakterii i jej zdolność do przetrwania.

Naszym zdaniem wpływ pola magnetycznego na odporność mikroorganizmów na antybiotyki jest bardzo ważny. Efekty magnetyczne i elektromagnetyczne zostały wykorzystane do badania metod przezwyciężania oporności bakterii na antybiotyki. W 1994 roku D.E. Benson i współautorzy donieśli o znacznym wzroście wrażliwości *Pseudomonas aeruginosa* na gentamycynę w wyniku działania pola magnetycznego. M.J. Stansell i współautorzy (2001) zauważyli w swoim badaniu, że statyczne pola magnetyczne znacząco wpływają na wrażliwość *E. coli* na antybiotyki. Uważa się, że nawet pola geomagnetyczne o niskim natężeniu mogą wpływać na odporność bakterii na leki przeciwbakteryjne (Kolmakov i in., 2002). Naukowcy zauważają, że adaptacji *E. coli* do obszarów hipomagnetycznych towarzyszy spadek intensywności wzrostu bakterii i zmiany wrażliwości na antybiotyki. R. Caubet i współautorzy (2004) stwierdzili, że wrażliwość *E. coli* na gentamycynę i tetracyklinę wzrosła po ekspozycji na pola elektryczne. Autorzy przypisali ten efekt "efektowi bioelektrycznemu" pola. Jednak A. Poiata i współautorzy (2003) zauważyli, że w warunkach hipomagnetycznych oporność *E. coli* na różne antybiotyki znacznie spada. R.K. Kermanshahi, M.R. Sailani (2005) wskazali na spadek oporności *Staphylococcus aureus* i *E. coli* na antybiotyki pod wpływem statycznego pola magnetycznego.

pola elektryczne, co przejawiało się wyraźniejszym spadkiem intensywności wzrostu bakterii w porównaniu z grupą kontrolną. Jednocześnie działanie pól było bardziej skuteczne wobec gram-ujemnych *bakterii E. coli*. S.A. Pickering i współautorzy (2003) donieśli, że stymulacja elektromagnetyczna *Staphylococcus epidermidis* podwoiła skuteczność gentamycyny.

Ważnym czynnikiem jest to, że pole magnetyczne w połączeniu z innymi polami fizycznymi (elektrycznymi, akustycznymi) może przyczynić się do lepszej absorpcji antybiotyków, ponieważ pole magnetyczne zwiększa przepuszczalność barier membranowych (Mazur V.V. i in., 2006; Varakin A.I. i in., 2007).

Można więc założyć, że pole magnetyczne ma hamujący wpływ na *HP* poprzez a) bezpośredni wpływ na mikroorganizm (wpływ na receptory błony *HP*, zmiany jej przepuszczalności, zmiany właściwości kinetycznych *HP*, zmniejszenie zdolności do podziału i wzrostu oraz naprawy DNA, wywoływanie stresu oksydacyjnego itp.) b) uszkodzenie zdolności adaptacyjnych *HP* (możliwy spadek aktywności enzymów i upośledzony metabolizm żelaza, zmniejszone wchłanianie przez bakterię); c) wpływ na makroorganizm (niespecyficzne działanie przeciwzapalne, przeciwobrzękowe i inne efekty pola magnetycznego, wpływ na aktywność enzymów transportu żelaza); d) zwiększona wrażliwość *HP* na terapię antyhelikobakteryjną.

literatura

Berkutov A.M., Zhulev V.I., Kuraev G.A., Proshin E.M. (red.) (2000) Systemy kompleksowej elektromagnetoterapii. Laboratorium wiedzy podstawowej, Moskwa, 376 str.

Varakin A.I., Mazur V.V., Arkhipova N.V., Saryanov Y.V. (2007) Modelling methods in biophysical pharmacokinetics. Medical Technology, 3: 8-13.

Kolmakov VM, Kulikov VY, Voronin AY, Evstropov AN (2002) Evaluation of the influence of deep geomagnetic influence on the growth rate and antibiotic susceptibility of *Escherichia coli*. Zhurnal microbiol. epidemiol. i immunol. 3: 68-70.

Kulyash Y.V., Lepilin A.V., Semenova O.P., Kutsemalko R.T. (1998) Combined effect of laser radiation and alternating magnetic fields on staphylococci. J. Microbiol., Epidemiol. and Immunol. 5: 33-36.

Kurochkin AV, Vorobieva AA (2006) Stan hemostatyczny i białka krwi zawierające żelazo u pacjentów z wrzodami żołądka i dwunastnicy. Fundamental research, 10: 100.

Lomachenkov VD, Kuprikova IM, Pyazhechkina LA et al. (1998) Inhibitory effect of the electric field of UHF and magnetic-infrared-laser radiation on Mycobacterium tuberculosis. Problems of tuberculosis, 4: 53-55.

Mazur V.V., Varakin A.I., Serianov Y.V. (2006) Optimisation of antibiotic phoretic physiotherapy devices based on a two-barrier model of diffusion and diffusion-osmotic migration of antibiotic anions. Medical Technology, 1: 8-12.

Putsenko VA, Kulishova TV, Osipova IV et al. (2004) Patogenetyczne uzasadnienie stosowania ogólnej terapii magnetycznej w kompleksowym leczeniu i wtórnej profilaktyce choroby wrzodowej. In: Proc. I Internat. "Rehabilitation Medicine and Rehabilitation 2004", 20-21 września 2004 r., Moskwa, s. 268.

Starodub E.M., Samogalska O.E., Markiv I.M., Luchanko P.I. (1994) Effect of electromagnetic radiation ultrawysokiej częstotliwości na przebieg choroby wrzodowej związanej z Helicobacter pylori. Medical Affairs, 1: 85-87.

Filimonov PM, Korolev YN, Konicheva EP (1998) Mikrofalowe pole elektromagnetyczne (460 MHz) w połączeniu z tribimolem w leczeniu wrzodu dwunastnicy związanego *z Helicobacter pylori*. Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Education, 1: 23-25.

Filimonov RM, Korolev YN, Kochineva ER (1993) Kompleksowe leczenie choroby wrzodowej związanej z Helicobacter pylori, elektromagnetycznym DMV i koloidalnym podcytrynianem bizmutu. Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Education, 6: 19-22.

Allen P.D., St Pierre T.G., Chua-anusorn W. et al. (2000) Low-frequency low-field magnetic susceptibility of ferritin and hemosiderin. Biochim. Biophys. Acta, 1500(2): 186-196.

Antanaitis B.C., Moss T.H. (1975) Magnetic studies of the four-iron high-potential, non-heme protein from Chromatium vinosum. Biochim. Biophys. Acta, 405(2): 262-279.

Arnesano F., Banci L., Piccioli M. (2005) NMR structures of paramagnetic metalloproteins. Q. Rev. Biophys., 38(2): 167-219.

Barabino A. (2002) Niedokrwistość z niedoboru żelaza związana z Helicobacter pylori: przegląd. Helicobacter, 7(2): 71-75.

Bell S.H., Weir M.P., Dickson D.P. et al. (1984) Mössbauer spectroscopic studies of human haemosiderin and ferritin. Biochim. Biophys. Acta, 787(3): 227-236.

Belyaev I.Y., Alipov E.D. (2001) Frequency-dependent effects of ELF magnetic field on chromatin conformation in Escherichia coli cells and human lymphocytes. Biochim. Biophys. Acta, 1526(3): 269-276.

Belzer C., van Schendel B.A., Kuipers E.J. et al. (2007) Iron-responsive repression of urease expression in *Helicobacter hepaticus* is mediated by the transcriptional regulator Fur. Infect. Immun. 75(2): 745-752.

Benson D.E., Grissom C.B., Burns G.L., Mohammad S.F. (1994) Magnetic field enhancement of antibiotic activity in biofilm forming *Pseudomonas aeruginosa*. ASAIO J., 40(3): 371-376.

Binhi V.N., Alipov Y.D., Belyaev I.Y. (2001) Effect of static magnetic field on *E. coli* cells and individual rotations of ion-protein complexes. Bioelectromagnetics, 22(2): 79-86.

Bullen J.J., Rogers H.J., Griffiths E. (1978) Rola żelaza w infekcji bakteryjnej. Curr. Top. Microbiol. Immunol. 80: 1-35.

Bullen J.J., Ward C.G., Rogers H.J. (1991) Krytyczna rola żelaza w niektórych infekcjach klinicznych. Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis., 10(8): 613-617.

Butler W.F., Calvo R., Fredkin D.R. et al. (1984) The electron structure of Fe^{2+} in reaction centres from *Rhodopseudomonas sphaeroides*. III. Pomiary EPR zredukowanego kompleksu akceptorowego. Biophys. J., 45(5): 947-973.

Butler W.F., Johnston D.C., Shore H.B. et al. (1980) The electronic structure of Fe2+ in reaction centres from *Rho dopseudomonas sphaeroides*. I. Pomiary magnetyzacji statycznej. Biophys. J., 32(3): 967-992.

Calderón-Miranda M.L., Barbosa-Cánovas G.V., Swan- son B.G. (1999) Inactivation of *Listeria innocua* in skim milk by pulsed electric fields and nisin. Int. J. Food Microbiol. 51(1): 19-30.

Carnicer J., Badía R., Argemí J. (1997) Helicobacter pylori gastritis and sideropenic refractory anaemia. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr., 25(4): 441.

Caubet R., Pedarros-Caubet F., Chu M. et al. (2004) Prąd elektryczny o częstotliwości radiowej zwiększa skuteczność antybiotyków przeciwko biofilmom bakteryjnym. Antimicrob. Agents Chemother. 48(12): 4662-4664.

Cortés, C., Esteve, M.J., Rodrigo, D. et al. (2006) Changes of colour and carotenoids contents during high intensity pulsed electromagnetic field treatment in orange juices. Food Chem. Toxicol., 44(11): 1932-1939.

Cróinín T.O., McCormack A., van Vliet A.H. et al. (2007) Random mutagenesis to identify novel *Helicobacter mustelae* virulence factors. FEMS Immunol. Med. Microbiol. 50(2): 257-263.

Davies B.J., de Vries N., Rijpkema S.G., van Vliet A.H., Penn C.W. (2002) Transcriptional and mutational analysis of the *Helicobacter pylori* urease promoter. FEMS Microbiol Lett. 213(1): 27-32.

De Jonge R., Bakker D., van Vliet et al. (2003) Direct random insertion mutagenesis of *Helicobacter pylori*. J. Microbiol. Methods, 52(1): 93-100.

Dhaenens L., Szczebara F., Husson M.O. (1997) Identyfikacja, charakterystyka i immunogenność białka wiążącego laktoferynę z Helicobacter pylori. Infect. Immun. 65(2): 514-518.

Dufour C., Brisigotti M., Fabretti G. et al. (1993) Helicobacter pylori gastric infection and sideropenic refractory anaemia. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr., 17(2): 225-227.

Dutreux N., Notermans S., Góngora-Nieto M.M. et al. (2000) Effects of combined exposure of *micrococcus luteus* to nisin and pulsed electric fields. Int. J. Food Microbiol. 60(2-3): 147-152.

Ellaiah P., Adinarayana K., Sunitha M. (2003) Wpływ pola magnetycznego na biosyntezę neomycyny przez *Streptomyces marin ensis*. Pharmazie, 58(1): 58-59.

Ernst F.D., Kuipers E.J., Heijens A. et al. (2005) Niklowy regulator NikR kontroluje aktywację i represję transkrypcji genów u *Helicobacter pylori*. Infect. Immun. 73(11): 7252-7258.

Ernst F.D., Stoof J., Horrevoets W.M. et al. (2006) NikR pośredniczy w reagującej na nikiel represji transkrypcji białek błony zewnętrznej Heli- cobacter pylori FecA3 (*HP1400*) i FrpB4 (*HP1512*). Infect Immun: 6821-6828.

Evans M.C., Hall D.O., Johnson C.E. (1970) Hyperfine structure of (57Fe) iron in the Mössbauer spectrum of the high-potential iron protein from Chromatium. Biochem. J., 119(2): 289-291.

Fojt L., Strasák L., Vetterl V. (2007) Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans*. Bioelectrochemistry, 70(1): 91-95.

Frankel R.B., Bazylinski D.A., Johnson M.S., Taylor B.L. (1997) Magneto-aerotaxis in marine coccoid bacteria. Biophysical Journal, 73(2): 994-1000.

Greenberg M., Canter K., Mahler I., Tornheim A. (2005) Obserwacja zachowań magnetorecepcyjnych u wielokomórkowych magnetotaktycznych prokariotów w polach wyższych niż geomagnetyczne. Biophys. J., 88(2): 1496-1499.

Griffiths E. (1987) The iron uptake systems of pathogenic bacteria. In: J. Bullen, E. Griffiths (Eds.) Iron and infection: molecular, physiological and clinical aspects. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom, pp. 69-138.

Herrington D.A., Sparling P.F. (1985) Haemophilus influenzae może wykorzystywać ludzką transferynę jako jedyne źródło wymaganego żelaza. Infect. Immun. 48(1): 248-251.

Hughes S, El Haj A.J., Dobson J., Martinac B. (2005) The influence of static magnetic fields on mechanosensitive ion channel activity in artificial liposomes. Eur. Biophys. J., 34(5): 461-468.

Husson M.O., Legrand D., Spik G., Leclerc H. (1993) Pozyskiwanie żelaza przez Helicobacter pylori: znaczenie ludzkiej laktoferyny. Infect. Immun. 61(6): 2694-2697.

Jass J., Costerton J.W., Lappin-Scott H.M. (1995) Wpływ prądu elektrycznego i tobramycyny na biofilmy *Pseudomonas aeruginosa*. J. Ind. Microbiol. 15(3): 234-242.

Johnson M.K., Thomson A.J., Robinson A.E. et al. (1981) Low-temperature magnetic circular dichroism spectra and magnetisation curves of 4Fe clusters in iron-sulphur proteins from *Chromatium* and *Clostridium pasteurianum*. Biochim. Biophys. Acta, 667(2): 433-451.

Justo O.R., Pérez V.H., Alvarez D.C., Alegre R.M. (2006) Growth of *Escherichia coli* under extremely low-frequency electromagnetic fields. Appl. Biochem. Biotechnol. 134(2): 155-163.

Keim C.N., Abreu F., Lins U. et al. (2004) Organizacja komórek i ultrastruktura wielokomórkowego organizmu magnetotaktycznego.
J. Struct. Biol., 145(3): 245-262.

Kermanshahi R.K., Sailani M.R. (2005) Effect of static electric field treatment on multiple antibiotic-resistant pathogenic strains of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. J. Microbiol. Immunol. Infect. 38(6): 394-398.

Liang Z., Mittal G.S., Griffiths M.W. (2002) Inactivation of *Salmonella Typhimurium* in orange juice containing antimicrobial agents by pulsed electric field. J. Food Prot., 65(7): 1081-1087.

Mahdi A., Gowland P.A., Mansfield P. et al. (1994) The effects of static 3.0 T and 0.5 T magnetic fields and the echo-planar imaging experiment at 0.5 T on E. coli. Br. J. Radiol., 67(802): 983-987.

Marignani M., Angeletti S., Bordi C. et al. (1997) Odwrócenie długotrwałej niedokrwistości z niedoboru żelaza po eradykacji zakażenia Helico- bacter pylori. Scand. J. Gastroenterol., 32(6): 617-622. **Nakao K., Imoto I., Gabazza E.C. et al.** (*1997a*) Gastric juice levels of lactoferrin and *Helicobacter pylori* infection. Scand. J. Gastroenterol., 32(6): 530-534.

Nakao K., Imoto I., Ikemura N. et al. (*1997b*) Związek poziomów laktoferyny w błonie śluzowej żołądka z zakażeniem *Helicobacter* pylori i ze stopniem zapalenia żołądka. Am. J. Gastroenterol., 92(6): 1005-1011.

Neilands J.B. (1981) Microbial iron compounds. Annu. Rev. Biochem. 50: 715-731.

Otto B.R., Verweij-van Vught A.M., MacLaren D.M. (1992) Transferryny i związki hemowe jako źródła żelaza dla bakterii chorobotwórczych. Crit. Rev. Microbiol. 18(3): 217-233.

Payne S.M. (1993) Pozyskiwanie żelaza w patogenezie drobnoustrojów. Trends Microbiol: 66-69.

Perez-Roa R.E., Tompkins D.T., Paulose M. et al. (2006) Effects of localised, low-voltage pulsed electric fields on the development and inhibition of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. Biofoul- ing, 22(5-6): 383-390.

Piatti E., Albertini M.C., Baffone W. et al. (2002) Antybakteryjne działanie pola magnetycznego na Serratia marcescens i związana z tym wirulencja komórek kalusa *Hordeum vulgare* i *Rubus fruticosus*. Comp. Bio- chem. Physiol. B. Biochem. Mol .Biol., 132(2): 359-365.

Pica F., Serafino A., Divizia M. et al. (2006) Effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on Kaposi's sarcoma-associated herpes virus in BCBL-1 cells. Bioelectromagnetics, 27(3): 226-232.

Pickering S.A., Bayston R., Scammell B.E. (2003) Electromagnetic augmentation of antibiotic efficacy in infection of orthopaedic implants. J. Bone Joint. Surg. Br., 85(4): 588-593.

Poiata A., Creanga D.E., Morariu V.V. (2003) Życie w zerowym polu magnetycznym. V. Odporność *E. coli* na antybiotyki. Electromagnetic Biology and Medicine, 22(2-3): 171-182.

Radhakrishnan A., McConnell H.M. (2000) Wpływ pola elektrycznego na kompleksy cholesterol-fosfolipid. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 97(3): 1073-1078.

Ramon C., Ayaz M., Streeter D.D. Jr. (1981) Inhibition of growth rate of *Escherichia coli* induced by extremely low-frequency weak magnetic fields. Bioelectromagnetics, 2(3): 285-289.

Rodrigo D., Barbosa-Cánovas G.V., Martínez A., Rodrigo M. (*2003a*) Pectin methyl esterase and natural microflora of fresh mixed orange and carrot juice treated with pulsed electric fields. J. Food Prot., 66(12): 2336-2342.

Rodrigo D., Barbosa-Cánovas G.V., Martínez A., Rodrigo M. (*2003b*) Weibull distribution function based on an empirical mathematical model for inactivation of *Escherichia coli* by pulsed electric fields. J. Food Prot., 66(6): 1007-1012.

Rodrigo D., Martínez T.A., Harte F. et al. (2001) Study of inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange-carrot juice by means of pulsed electric fields: porównanie modeli kinetyki inaktywacji. J. Food Prot: 259-263.

Saponja J.A., Vogel H.J. (1996) Metal-ion binding properties of the transferrins: a vanadium-51 NMR study. J. Inorg. Biochem. 62(4): 253-270.

Sentandreu E., Carbonell L., Rodrigo D., Carbonell J.V. (2006) Pulsujące pola elektryczne a obróbka termiczna: równoważne procesy w celu uzyskania równie akceptowalnych soków cytrusowych. J. Food Prot., 69(8): 2016-2018.

Stähler F.N., Odenbreit S., Haas R. et al. (2006) Nowa pompa wypływu metalu *Helicobacter pylori* CznABC jest wymagana do oporności na kadm, cynk i nikiel, modulacji ureazy i kolonizacji żołądka. Infect. Immun. 74(7): 3845-3852.

Stansell M.J., Winters W.D., Doe R.H., Dart B.K. (2001) Increased antibiotic resistance of *E. coli* exposed to static magnetic fields. Bioelectromagnetics, 22(2): 129-137.

Stepanian R.S., Barsegian A.A., Alaverdian Zh.R. et al. (2000) The effect of magnetic fields on the growth and division of the lon mutant of *Escherichia coli* K-12. Radiats. Biol. Radioecol. 40(3): 319-322.

Stephens P.J., Thomson A.J., Dunn J.B. et al. (1978) Circular dichroism and magnetic circular dichroism of iron-sulfur proteins. Biochemistry, 17(22): 4770-4778.

Stoodley P., deBeer D., Lappin-Scott H.M. (1997) Influence of electric fields and pH on biofilm structure as related to the bioelectric effect. Antimicrob. Agents Chemother. 41(9): 1876-1879.

Strasák L., Vetterl V., Smarda J. (2002) Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. Bioelectrochemistry, 55(1-2): 161-164.

Tang Y.C., Gonzalez-Torriera M., Yang S., Davenport A.J. (2003) Effect of magnetic fields on corrosion. J. Corr. Sci. Eng. 6: 111.

Terebiznik M., Jagus R., Cerrutti P. et al. (2002) Inactivation of *Escherichia coli* by a combination of nisin, pulsed electric fields, and water activity reduction by sodium chloride. J. Food Prot. 65(8): 1253-1258.

Terebiznik M.R., Jagus R.J., Cerrutti P. et al. (2000) Combined effect of nisin and pulsed electric fields on the inactivation of *Es cherichia coli*. J. Food Prot. 63(6): 741-746.

Thiemann W., Wagner E. (1970) Wpływ jednorodnych pól magnetycznych na wzrost *Micrococcus denitrificans*. Z. Natur- forsch. B., 25(9): 1020-1023.

Torregrosa F., Cortés C., Esteve M.J., Frígola A. (2005) Effect of high-intensity pulsed electric fields processing and conventional heat treatment on orange-carrot juice carotenoids. J. Agric. Food Chem. 53(24): 9519-9525.

van Vliet A.H., Ernst F.D., Kusters J.G. (*2004a*) NikR-mediated regulation of *Helicobacter pylori* acid adaptation. Trends Microbiol. 12(11): 489-494.

van Vliet A.H., Kuipers E.J., Stoof J. et al. (*2004b*) Indukcja genów produkujących amoniak u bakterii *Heli cobacter pylori* za pośrednictwem kaskady represorów reagujących na metale. Infect. Immun: 766-773.

van Vliet A.H., Kuipers E.J., Waidner B. et al. (2001) Reagująca na nikiel indukcja ekspresji ureazy u *Helicobacter pylori* odbywa się na poziomie transkrypcji. Infect. Immun. 69(8): 4891-4897.

van Vliet A.H., Poppelaars S.W., Davies B.J. et al. (2002) NikR pośredniczy w reagującej na nikiel transkrypcyjnej indukcji ekspresji ureazy u *Helicobacter pylori*. Infect. Immun. 70(6): 2846-2852.

van Vliet A.H., Stoof J., Poppelaars S.W. et al. (2003) Differential regulation of amidase- and formamidase-mediated ammonia production by the Helicobacter pylori fur repressor. J. Biol. Chem. 278(11): 9052-9057.

Weinberg E.D. (1978) Żelazo i infekcja. Microbiol. Rev., 42(1): 45-66.

Wellman N., Fortun S.M., McLeod B.R. (1996) Biofilmy bakteryjne i efekt bioelektryczny. Antimicrob. Agents Chemother. 40(9): 2012-2014.

Yavuz H., Celebi S.S. (2004) Wpływ pola magnetycznego na kinetykę osadu czynnego. Environ. Technol., 25(1): 7-13.

Yin D.C., Wakayama N.I., Inatomi Y. et al. (2003) Strong magnetic field effect on the dissolution process of tetragonal lysozyme crystals. Adv. Space Res., 32(2): 217-223.

Zhang, S., Wei, W., Tao, H. et al. (2004) Monitoring the inhibitory effect of the static magnetic field on the activity of lysozyme with acoustic wave impedance analysis technique. J. Enzyme Inhib. Med. Chem., 19(5): 441-447.

Zhang S., Wei W., Zhang J. et al. (2002) Effect of static magnetic field on growth of *Escherichia coli* and relative response model of series piezoelectric quartz crystal. Analyst, 127(3): 373-377.

Zhang Z.W., Patchett S.E., Perrett D. et al. (1998) The relationship between gastric vitamin C concentrations, mucosal histology, and CagA seropositivity in the human stomach. Gut, 43(3): 322-326.

Wpływ pola magnetycznego *na helicobacter pylori* i inne mikroorganizmy

I.B. Zhakun

Streszczenie. *W artykule przedstawiono mechanizmy wpływu pól magnetycznych i elektrycznych na żywotność mikroorganizmów, w szczególności Helicobacter pylori.*

Słowa kluczowe: *Helicobacter pylori, mikroorganizmy, pole elektryczne, pole magnetyczne, żelazo, białka metali, magnetowrażliwość.*

WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA *HELICOBACTER PYLORI* I INNE MIKROORGANIZMY

I.B. Zhakun

Streszczenie. *Niniejszy przegląd podsumowuje mechanizmy wpływu pól magnetycznych i elektrycznych na żywotność mikroorganizmów, w szczególności Helicobacter pylori.*

Słowa kluczowe: *Helicobacter pylori, mikroorganizmy, pole elektryczne, pole magnetyczne, żelazo, metaloproteiny, wrażliwość magnetyczna.*

Adres do korespondencji:
Iryna Zhakun
ul. Pekarska 52, Lwów, 79010
Danylo Halytsky Lwowski Narodowy Uniwersytet Medyczny, Wydział Terapii Wydziałowej