

MARTYNA JANKOWIAK, PIOTR TRZONKOWSKI

*Katedra i Zakład Immunologii Medycznej  
Gdański Uniwersytet Medyczny  
Marii Skłodowskiej-Curie 3a, 80-210 Gdańsk  
E-mail: martyna.jankowiak@gumed.edu.pl  
piotr.trzonkowski@gumed.edu.pl*

## SZCZEPIENIA OCHRONNE – DLACZEGO SĄ WAŻNE?

### WSTĘP

Szczepienia ochronne są jednym z najważniejszych odkryć w historii medycyny. Są one prostą i tanią, a zarazem bardzo skuteczną i bezpieczną metodą profilaktyki i zwalczania chorób infekcyjnych. Ich działanie obejmuje tworzenie odporności organizmu, uprzedzając kontakt z naturalnie występującymi patogenami (WHO 2021a). Szczepienia umożliwiły całkowite zwalczenie (eradykację) wielu bardzo groźnych dla życia chorób, m.in.: ospy prawdziwej, polio czy krztuśca (PARDI i współaut. 2018, STONE i współaut. 2019). Dzięki masowym programom szczepień WHO w 1980 r. stwierdziła całkowitą eradykację ospy prawdziwej, a już od 1977 r. nie stwierdzono żadnego przypadku zachorowania (MEYER i współaut. 2020, WHO 2021b). Szacuje się, że w okresie 2011-2020 szczepienia zapobiegły śmierci 23,3 milionów osób (DELANY i współaut. 2014, <https://www.cdc.gov/globalhealth/in-fographics/pdf/global-impact-of-vaccines.pdf>).

W Polsce każdego roku Główny Inspektor Sanitarny przedstawia komunikat dotyczący kalendarza szczepień ochronnych (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/kalendarz-szczepien-2021/>). Obejmuje on zarówno szczepienia obowiązkowe, którym podlega każde urodzone dziecko, jak i szczepienia zalecane.

### NA CZYM POLEGAJĄ SZCZEPIENIA?

Szczepionki w bezpieczny sposób „zmu-szają” organizm do wytworzenia odporności

na dane patogeny, by w przypadku zakażenia ułatwić jego eliminację i przyspieszyć wyzdrowienie. Szczepienie polega na podaniu pacjentowi antygenów patogenu (fragmenty bakterii lub wirusów przygotowanych w sposób uniemożliwiający ich namnażanie i rozwój choroby), które powodują wygenerowanie odpowiedzi układu odpornościowego skierowanej przeciwko podanym patogenom oraz, co najważniejsze, wytworzenie pamięci immunologicznej.

Po wstrzyknięciu szczepionki do organizmu, jednym z pierwszych zachodzących mechanizmów jest wychwytywanie, najczęściej na drodze fagocytozy lub pinocytozy, podanych fragmentów patogenów przez komórki dendrytyczne (DC). Następnie, komórki te transportują antygeny szczepionki do węzłów chłonnych, gdzie spełniają swoją rolę jako komórki prezentujące antygen (APC) i prezentują transportowane substancje naiwnym limfocytom.

Po kontakcie z APC dochodzi do aktywacji limfocytów T CD8+ i CD4+ oraz limfocytów B, doprowadzając do wytworzenia komórek pamięci immunologicznej, które potrafią przetrwać w organizmie wiele lat i umożliwiają szybszą reakcję odpornościową w przypadku kolejnego spotkania z patogenem.

Efektom wniknięcia fragmentów patogenów do komórek dendrytycznych będzie również wzrost produkcji przez nie cytokin prozapalnych, głównie interferonów typu I, interleukiny 6 (Il-6) czy TNF $\alpha$ , które są odpowiedzialne za występowanie objawów po-

szczepiennych, takich jak bóle mięśniowe i gorączka. Występowanie objawów o niewielkim nasileniu jest dla nas informacją, że szczepienie zadziałało prawidłowo; dowodzą one, że organizm zwalcza patogen, prawidłowo nań reaguje.

W konsekwencji uzyskana zostaje odporność zarówno komórkowa, jak i humoralna. Komórkowa – przy udziale limfocytów T CD8+, mających znaczenie głównie przy zakażeniach wirusowych, ponieważ rozpoznają i doprowadzają do unieszkodliwienia zainfekowanych komórek. Humoralna, gdzie aktywowane limfocyty B wytwarzają przeciwciała skierowane przeciwko rozpoznanym antygenom i opsonizują (opłaszczają) zewnątrzkomórkowe cząsteczki patogenów unieszkodliwiając je (SHUKLA i SHAH 2018). Szczepienie doprowadza więc do serokonwersji, czyli wykształcenia przeciwciał specyficznych dla danego patogenu (SHUKLA i SHAH 2018).

Podsumowując, nabycie odporności powoduje przygotowanie komórek układu odpornościowego do walki z obcymi substancjami, dzięki czemu po wnikięciu patogenu do naszego organizmu, zakażenie będzie mogło zostać zwalczone dużo szybciej, co umożliwi jego łagodniejszy lub zupełnie bezobjawowy przebieg.

## SPOSÓB PODANIA SZCZEPIONKI

Stosowane są trzy drogi podawania szczepionek: doustnie, donosowo lub przez wstrzyknięcie. Iniekcja jest najczęściej stosowaną metodą podania, można ją wykonać śródskórnie, podskórnie lub, tak jak aktualnie wykonywane szczepienia przeciwko wirusowi SARS-COV-2, domięśniowo.

Z uwagi na występowanie w skórze i mięśniach dużej liczby naczyń krwionośnych, podanie szczepionki tymi drogami skutkuje szybkim i równomiernym wchłanianiem, porównywalnym z podaniem dożylnym, co umożliwia szybką reakcję organizmu (POLANIA GUTIERREZ i MUNAKOMI 2021).

## RODZAJE SZCZEPIONEK

Szczepionki ze względu na rodzaj drobnoustroju możemy podzielić na wirusowe, bakteryjne i mieszane.

Ze względu na rodzaj antygeny szczepionkowego dzieli się je na:

– żywe, w ich skład wchodzi żywe drobnoustroje, które zostały atenuowane, czyli pozbawione właściwości chorobotwórczych (np. szczepionka przeciw gruźlicy, śwince, różyczce czy odrze) ([https://szczepienia.pzh.gov.pl/](https://szczepienia.pzh.gov.pl/faq/do-ktorej-grupy-naleza-szczepionki-przeciw-covid-19-zywych-czy-zabitych/)); <https://szczepienia.pzh.gov.pl/>

wszystko-o-szczepieniach/jakie-sa-rodzaje-szczepionek-2/). Wywołują one najsilniejszą odpowiedź immunologiczną spośród wszystkich rodzajów szczepionek, natomiast niosą ze sobą wysokie ryzyko wystąpienia objawów poszczepiennych, dlatego takiego rodzaju preparatu nie podaje się osobom z niedoborami odporności (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/czy-mozna-szczepic-osoby-z-obnizona-odpornoscia/>);

– zabite, zawierające inaktywowane patogeny (np. szczepionka przeciw poliomyelitis, WZW A, dżumie, grypie). Patogeny są inaktywowane fizycznie (przez promieniowanie gamma, UV, wysoką temperaturę) lub chemicznie (z zastosowaniem formaldehydu, nadtlenu wodoru) (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jakie-sa-rodzaje-szczepionek-2/>, SANDERS i współaut. 2015). Dzięki inaktywacji, te szczepionki są bezpieczniejsze w użyciu i rzadko prowadzą do wystąpienia niepożądanych odczynów poszczepiennych, natomiast do wykształcenia trwałej odporności wymagają podania kilku dawek, by wzmocnić odpowiedź immunologiczną (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jakie-sa-rodzaje-szczepionek-2/>).

Wśród szczepionek inaktywowanych wyróżnić możemy szczepionki mRNA i szczepionki wektorowe:

– szczepionki mRNA, gdzie zastosowany fragment RNA to kwas nukleinowy kodujący antygeny patogenu oraz umożliwiający wewnątrzkomórkową amplifikację RNA i obfitą ekspresję białek, następnie rozpoznawanych przez układ odpornościowy osoby zaszczepionej (SCHLAKE i współaut. 2012, PARDI i współaut. 2018). Kwas nukleinowy w postaci mRNA jest cząsteczką wyjątkowo niestabilną i w czystej postaci zostałby w krótkim czasie zdegradowany. Dlatego na etapie produkcji zamykany jest w otoczkę z nanocząsteczek lipidowych (LNP), umożliwiających wnikięcie materiału do cytozolu komórkowego. Jest to miejsce docelowe, gdzie z wykorzystaniem rybosomów następuje przepisanie niesionej informacji (proces translacji) i wytworzenie białek wirusowych lub bakteryjnych (SCHONMAKER i współaut. 2021). Wykorzystanie kwasów nukleinowych w wakcynologii nie jest nowo powstałą metodą. Technologia szczepionek mRNA znana jest już od początku XIX w., a pierwsze terapie *in vivo*, bazujące na wstrzykiwaniu mRNA do mięśni, odnotowano już w 1990 r. (WOLFF i współaut. 1990, KARIKÓ i współaut. 2008).

– szczepionki wektorowe zakładają wykorzystanie nieszkodliwych wektorów wirusowych (pochodzących najczęściej od retrovirusów, adenowirusów lub wirusów ospy), transportujących wyselekcjonowane fragmen-

ty kodujące immunogenne fragmenty patogenu (RAMEZANPOUR i współaut. 2016, VETTER i współaut. 2018). Ideą działania szczepionki wektorowej jest indukcja syntezy antygenów *de novo* w organizmie przyjmującego, która prowadzi do wygenerowania odpowiedzi immunologicznej, realizowanej przez limfocyty T CD4+, T CD8+ i limfocyty B oraz produkcję przeciwciał. Ma to naśladować naturalną odpowiedź immunologiczną (CDC 2021; <https://vaccination-info.eu/pl/publications-data/infografika-szczepionki-wektorowe-przeciwko-covid-19-jak-dzialaja>).

– podjednostkowe, bezkomórkowe, zawierające najbardziej immunogenne fragmenty patogenów: białka, peptydy, polisacharydy (np. szczepionka meningokokowa, WZW B, czy anty-HPV). Zazwyczaj, a szczególnie przy wykorzystaniu antygenów polisacharydowych, wymagane jest białko nośnikowe (np. toksoid tężcowy, krztuścowy, błoniczy), mogące jednocześnie pełnić funkcję adiuwantu (STRUGNELL i współaut. 2011, VETTER i współaut. 2018, WHO 2021a) (cząsteczka podnosząca efektywność szczepienia, stymulująca odpowiedź immunologiczną) (STRUGNELL i współaut. 2011, VETTER i współaut. 2018)

Szczepionki można również podzielić ze względu na zawartość (monowalentne, polivalentne, skojarzone), zakres działania uodparniającego (swoiste lub nieswoiste), postać (płynne, liofilizowane) oraz drogę podania (do wstrzykiwań, doustne, donosowe) (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jakie-sa-rodzaje-szczepionek-2/>).

Obecne w szczepionkach fragmenty materiału genetycznego wykorzystują mechanizmy komórkowe do produkcji białek wirusowych, które następnie prezentowane są na powierzchni komórki i rozpoznawane przez układ odpornościowy. W procesie odpowiedzi immunologicznej, zainfekowane komórki są niszczone, więc dostarczony wraz ze szczepionką materiał genetyczny zostaje całkowicie zdegradowany.

## ODPORNOŚĆ POPULACYJNA

Odporność zbiorowiskowa (populacyjna) jest to stan uodpornienia wysokiego odsetka populacji przeciwko danej chorobie, które zmniejsza prawdopodobieństwo zakażeń na większą skalę, zarówno osób zaszczepionych-uodpornionych, jak i pośrednio tych, którzy z pewnych względów nie mają możliwości zaszczepienia się. Im więcej osób zostanie zaszczepionych, tym mniejsza jest szansa transmisji choroby w populacji. Próg odporności populacyjnej obliczany jest dla każdej choroby indywidualnie, jednak zwykle wymagane jest około 90-95% po-

pułacji odpornej. Przykładowo, próg odporności dla odry wynosi 95%, natomiast dla krztuśca jest to 92-94% (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/co-to-jest-odpornosc-zbiorowiskowa/>). Dla świnki próg ten jest nieco niższy i wynosi 75-86% populacji odpornej. Ostatnie badania ustalające poziom odporności zbiorowej dla COVID-19 wahają się między 50% (FONTANET i CAUCHEMEZ 2020) a 70% (RANDOLPH i BARREIRO 2020), a wiele zależy od współczynnika R, czyli średniej liczby zakażonych przez jeden przypadek (50% dla R=1, a 70% dla R=3) (FONTANET i CAUCHEMEZ 2020).

## OSŁABIONA REAKCJA POSZCZEPIENNA

Część ludzi ze względów medycznych nie podlega szczepieniom. Są to m. in. pacjenci z wrodzonymi i nabytymi ciężkimi zaburzeniami odporności, pacjenci onkologiczni czy pacjenci po transplantacjach poddani leczeniu immunosupresyjnemu. Dodatkowym przeciwwskazaniem jest stwierdzone uczulenie na składniki szczepionki, mogące skutkować wystąpieniem po podaniu reakcji anafilaktycznej (EDINBORO 2019).

Z uwagi na brak możliwości uodpornienia tych osób, tym bardziej ważne jest wypracowanie odporności zbiorowej i wspólnej ochrony przed zakażeniem.

Żywe szczepionki niosą ze sobą ryzyko rozwoju choroby u osób o nieprawidłowo lub nie w pełni rozwiniętym układzie immunologicznym dlatego pacjenci o obniżonej odporności mogą przyjmować jedynie szczepionki zabite. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że wywołają one słabszą odpowiedź organizmu, a co z tym związane, słabszą odporność. Często sprawdza się odpowiedź poszczepienną i w razie konieczności podaje się kolejną dawkę, by wzmocnić efekt poszczepienny (SOBH i BONILLA 2016; <https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/czy-mozna-szczepic-osoby-z-obnizona-odpornoscia/>).

Podobne zasady dotyczą pacjentów, którzy poddawani są chemioterapii, radioterapii, pacjenci do 2 miesięcy po przeszczepie narządów litych oraz przyjmujący leki immunosupresyjne. W tych przypadkach układ odpornościowy jest nie w pełni kompetentny, dlatego nie odpowie poprawnie na podaną szczepionkę. Rekomenduje się podanie zabitych szczepionek i monitorowanie pacjentów lub zaszczepienie ich po całkowitym wyleczeniu i odbudowaniu układu odpornościowego (ARVAS 2014).

Na działanie szczepionki dodatkowy wpływ ma wiek. Z biegiem lat dochodzi do zwiększania się stosunku komórek pamięci



do komórek naiwnych. Skumulowane kłony komórek pamięci ograniczają możliwość reakcji komórek naiwnych na nowo podane antygeny szczepionki. Co więcej, dojrzały wiek charakteryzuje się zwiększonym poziomem cytokin prozapalnych, podwyższoną aktywnością limfocytów T regulatorowych (hamujących działanie układu immunologicznego), co skutkuje obniżeniem efektywności odpowiedzi (TRZONKOWSKI 2009).

### BADANIE BEZPIECZEŃSTWA I SKUTECZNOŚCI SZCZEPIONEK

W przypadku stwierdzenia zapotrzebowania na nową szczepionkę rozpoczyna się szereg procedur mających na celu wyprodukowanie preparatu. Składa się na to etap produkcji, badań klinicznych potwierdzających skuteczność i bezpieczeństwo oraz etap rejestracji i dopuszczenia do powszechnego stosowania powstałego już preparatu.

Początkowo bada się mechanizmy immunologiczne wzbudzające syntezę przeciwciał, które występują po naturalnym zachorowaniu. Kolejnym etapem jest wyodrębnienie fragmentu lub przygotowanie (np. atenuacja) całego patogenu, którego zjadliwość zostanie ograniczona w taki sposób, aby utrzymał jednocześnie swoje właściwości immunogenne (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jak-sie-bada-bezpieczenstwo-szczepionek/>). Zanim rozpocznie się etap badań klinicznych, preparat podlega badaniom na zwierzętach, by ocenić jego bezpieczeństwo i potencjał do ochrony przed zachorowaniem (<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/how-are-vaccines-developed>). Następnie rozpoczyna się etap badań klinicznych, złożony z kilku faz.

W I fazie szczepionka badana jest na niewielkiej grupie zdrowych ochotników, w ten sposób potwierdzana jest skuteczność i bezpieczeństwo preparatu w oddziaływaniu na człowieka, ustala się również odpowiednią dawkę.

II etap obejmuje szereg badań uwzględniający charakterystykę i podział grup pacjentów (płeć, wiek) oraz różne formuły szczepionki. W tym etapie wyniki uzyskane od grupy badanej porównywane są do wyników grupy kontrolnej otrzymującej placebo, a badaniom podlega już kilkaset pacjentów.

W III etapie badań biorą udział tysiące ochotników; zazwyczaj odbywają się one w wielu krajach, aby ocenić działanie preparatu w różnych populacjach. W tej części badań grupa kontrolna nie otrzymuje placebo, a podobnie działający produkt i porównuje się ich skuteczność. Co więcej, bada się bezpieczeństwo pod kątem występowania niepożądanych odczynów poszczepiennych

oraz możliwości interakcji ze składnikami innych szczepionek ujętych już w programie szczepień. (<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/how-are-vaccines-developed>; <https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jak-sie-bada-bezpieczenstwo-szczepionek/>).

Kiedy preparat przejdzie pozytywnie wszystkie etapy badań oraz uzyskane zostaną zadowalające wyniki dotyczące jakości i bezpieczeństwa, każdy kraj indywidualnie podejmuje decyzję o rejestracji preparatu i dopuszczeniu go do powszechnego stosowania. Procesu rejestracji na rynku europejskim dokonuje Europejska Agencja Leków, szczepionka jest wówczas ważna we wszystkich krajach Unii Europejskiej (procedura centralna, wzajemnego uznania) lub na rynku krajowym Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych.

Decyzja ta nie kończy procesu badań klinicznych, a przechodzą one w IV fazę badań uzupełniających. Badaniom porejestrycyjnym podlegają bardzo duże populacje, dzięki czemu możliwe jest wychwycenie innych, rzadziej występujących odczynów poszczepiennych i tych, które mogą wystąpić w odległym czasie po podaniu dawki (<https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jak-sie-bada-bezpieczenstwo-szczepionek/>).

Każda kolejno wyprodukowana seria szczepionek musi zostać poddana ocenie właściwości fizykochemicznych, zawartości środków konserwujących, adiuwantów, substancji inaktywujących i substancji pomocniczych. Identyfikuje się obecne antygeny wirusowe lub bakteryjne, sprawdza ich aktywność oraz wyklucza się możliwość zanieczyszczenia (<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/how-are-vaccines-developed>; <https://szczepienia.pzh.gov.pl/wszystko-o-szczepieniach/jak-sie-bada-bezpieczenstwo-szczepionek/>).

### COVID-19

Choroba koronawirusowa 2019 spowodowana wirusem SARS-COV-2 (ang. severe acute respiratory syndrome coronavirus-2) początkowo zdiagnozowana u mieszkańców Wuhan w Chinach (ZHOU i współaut. 2020), bardzo szybko rozprzestrzeniła się po świecie powodując zagrożenie dla życia i zdrowia miliardów ludzi. Niestety, mechanizm działania, powikłania choroby, jak i sposoby leczenia w dalszym ciągu nie są w pełni znane.

Wirus przenoszony jest drogą kropelkową (obecny jest w aerozolu tworzonym podczas kaszlu, kichania czy nawet mowy), a po

dostaniu się do organizmu rozpoczyna replikację najczęściej w urzęsionym nabłonku jamy nosowej. Następnie przenoszony jest dalej, atakując drogi oddechowe i płuca. Początkowo choroba daje objawy podobne do przeziębienia, które mogą postępować przez łagodne zapalenie płuc, zespół ostrej niewydolności oddechowej (ARDS), ostatecznie doprowadzając do niewydolności wielonarządowej i śmierci (WUJTEWICZ i współaut. 2020).

Aktualnie badanych jest wiele technologii terapeutycznych, m.in. hamujące inwazję wirusa lub jego replikację. Jedną ze strategii jest wykorzystanie istniejących już leków, między innymi przeciwwirusowych (oseltamivir, lopinawir/ritonavir), przeciwmalarycznych (chlorochina, hydroksychlorochina) i przeciwpasożytniczych (np. iwermektyna) (SANDERS i współaut. 2020). Jednak w dalszym ciągu leczenie przyczynowe nie jest możliwe, więc terapia skupia się na leczeniu objawowym i profilaktyce.

Technologie zastosowane w produkcji szczepionek przeciwko wirusowi SARS-COV-2 to przede wszystkim szczepionki mRNA (Cominarty, Pfizer/BioNtech; Moderna) i szczepionki wektorowe (Vaxzevria, AstraZeneca-Oxford; Janssen, Johnson&Johnson). Do tej pory WHO zatwierdziła 13 różnych szczepionek bazujących na różnych technologiach (szczepionki mRNA, DNA, wektorowe, inaktywowane, bazujące na antygenach białkowych), a kolejne są na etapie badań klinicznych (WHO 2021c). W Polsce zaszczepione mogą zostać osoby powyżej 18 roku życia, a przy zastosowaniu szczepionki Cominarty dopuszczono również szczepienie dzieci i młodzieży od 12 roku życia.

## PODSUMOWANIE

Szczepionki już od momentu ich odkrycia w XVIII w. zrewolucjonizowały medycynę. Od tego czasu zapobiegły śmierci miliardów ludzi i umożliwiły eradykację groźnych chorób infekcyjnych. Obecnie odkrywano nowe technologie, które mają na celu obniżenie kosztów, a podwyższenie skuteczności szczepionek. Nadzór nad procesami produkcji, wprowadzania i ich działania sprawuje skutecznie szereg różnych instytucji. Niestety w dalszym ciągu, a szczególnie w dobie pandemii koronawirusa SARS-COV-2, zauważa się tendencję spadkową liczby osób szczepiących się pomimo faktu, że metoda ta już od długiego czasu jest podstawą prewencji przed rozprzestrzenianiem się infekcji (DUBÉ i współaut. 2015). W 2019 r. WHO uwzględniła opór przed szczepieniami jako jedno z 10 największych zagrożeń dla zdrowia na świecie (<https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health>

-in-2019). W przypadku COVID-19 jest to jak na razie jedyna szansa do zakończenia pandemii, a w przypadku innych chorób, jedyna szansa na zapobieganie ich nawrotu. Dlatego wiele państw prowadzi różnego rodzaju kampanie, by zachęcić ludzi do przyjmowania szczepionek. Wiele chorób udało się dzięki nim wyeliminować, ale wiele innych dopiero nadejdzie, dlatego zaufanie sile medycyny zdaje się najbardziej odpowiednim podejściem (HARDT i współaut. 2016).

## Streszczenie

Szczepienia są najprostszą i najbardziej skuteczną metodą ochrony przed zachorowaniami na choroby infekcyjne (wirusowe i bakteryjne). Są metodą bardzo bezpieczną, stosowaną od wieku noworodkowego aż po wiek podeszły. Każda nowo powstała szczepionka, a także każda wyprodukowana seria przechodzi szereg badań potwierdzających skuteczność, bezpieczeństwo i wykluczających możliwość zanieczyszczenia. Badania nad wprowadzaniem nowych technologii trwają nieustannie, równoległe z próbami obniżenia kosztów produkcji, aby udostępnić preparat na coraz szerszą skalę. Wysoki procent wyszczepienia społeczeństwa, uzyskiwany dzięki sumiennemu przestrzeganiu kalendarza szczepień, jest bardzo istotny dla uzyskania odporności zbiorowej. W konsekwencji wysokiego odsetka uodpornienia (zazwyczaj 90-95%) chronieni są zarówno zaszczepieni, jak i, pośrednio, niezaszczepieni.

## LITERATURA

- ARVAS A. (2014). *Vaccination in patients with immunosuppression*. Turk. Pediatri. Ars. 49, 181-185.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention), 2021. *Understanding Viral Vector COVID-19 Vaccines*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/vaccines/different-vaccines/viralvector.html>.
- DELANY I., RAPPULI R., DE GREGORIO E., 2014. *Vaccines for the 21st century*. EMBO Mol. Med. 6, 708-720.
- DUBÉ E., VIVION M., MACDONALD N. E., 2015. *Vaccine hesitancy, vaccine refusal and the anti-vaccine movement: influence, impact and implications*. Expert Review of Vaccines, 14, 99-117.
- EDINBORO M., 2019. *Assessing Vaccine contraindications through the use of the immunization action coalition screening checklist*. Workplace Health Saf. 67, doi: 10.1177/2165079919837253.
- FONTANET A., CAUCHEMEZ S., 2020. *COVID-19 herd immunity: where are we?* Nat. Rev. Immunol., 20, 583-584.
- HARDT K., BONANNI P., KING S., SANTOS J. I., EL-HODHOD M., ZIMET G. D., PREISS S., 2016. *Vaccine strategies: Optimising outcomes*. Vaccine 34, 6691-6699.
- KARIKÓ K., MURAMATSU H., WELSH F. A., LUDWIG J., KATO H., AKIRA S., WEISSMAN D., 2008. *Incorporation of pseudouridine into mRNA yields superior nonimmunogenic vector with increased translational capacity and biological stability*. Mol. Therapy, J. Am. Soc. Gene Therapy 16, 1833-1840.
- MEYER H., EHMANN R., SMITH G. L., 2020. *Smallpox in the Post-Eradication Era*. Viruses, 12, <https://doi.org/10.3390/v12020138>.

- PARDI N., HOGAN M. J., PORTER F. W., WEISSMAN D., 2018. *mRNA vaccines - a new era in vaccinology*. *Nat. Rev. Drug Discov.* 17, 261-279.
- POLANIA GUTIERREZ J. J., MUNAKOMI S., 2021. *Intramuscular injection*. StatPearls Publishing (Internet).
- RANDOLPH H. E., BARREIRO L. B., 2020. *Herd immunity: Understanding COVID-19*. *Immunity* 52, 737-741.
- RAMEZANPOUR B., HAAN I., OSTERHAUS A., CLAASSEN E., 2016. *Vector-based genetically modified vaccines: Exploiting Jenner's legacy*. *Vaccine* 34, 6436-6448.
- SANDERS B., KOLDIJK M., SCHUITMAKER H., 2015. *Inactivated viral vaccines*. [W:] *Vaccine Analysis: Strategies, Principles, and Control*. NUNNALLY B. K., TURULA V. E., SITRIN R. D. (red.). Springer Berlin Heidelberg, 45-80.
- SANDERS J. M., MONOGUE M. L., JODLOWSKI T. Z., CUTRELL J. B., 2020. *Pharmacologic treatments for coronavirus disease 2019 (COVID-19): A review*. *J. Am. Med. Assoc.* 323, 1824-1836.
- SCHLAKE T., THESS A., FOTIN-MLECZEK M., KALLEN K.-J., 2012. *Developing mRNA-vaccine technologies*. *RNA Biol.* 9, 1319-1330.
- SCHOENMAKER L., WITZIGMANN D., KULKARNI J. A., VERBEKE R., KERSTEN G., JISKOOT W., CROMMELIN D. J. A., 2021. *mRNA-lipid nanoparticle COVID-19 vaccines: Structure and stability*. *Int. J. Pharmaceut.* 601, doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.120586.
- SHUKLA V. V., SHAH R. C., 2018. *Vaccinations in primary care*. *Indian J. Pediatr.* 85, 1118-1127.
- SOBH A., BONILLA F. A., 2016. *Vaccination in primary immunodeficiency disorders*. *J. Allergy Clin. Immunol. Pract.* 4, 1066-1075.
- STONE C. A. JR, RUKASIN C. R. F., BEACHKOFKY T. M., PHILLIPS E. J., 2019. *Immune-mediated adverse reactions to vaccines*. *Brit. J. Clin. Pharmacol.* 85, 2694-2706.
- STRUGNELL R., ZEPP F., CUNNINGHAM A., TANTAWICHIEEN T., 2011. *Vaccine antigens*. [W:] *Understanding modern vaccines. Perspectives in Vaccinology*. GARÇON N., LEROUX-ROELS G., CHENG W. (red.). Elsevier, 61-88.
- TRZONKOWSKI P., 2009. *Effect of anti-influenza vaccination on immune system in the elderly*. [W:] *Handbook on immunosenescence: basic understanding and clinical applications*. FULOP T., FRANCESCHI C., HIROKAWA K. (red.). Springer, 1455-1486.
- VETTER V., DENIZER G., FRIEDLAND L. R., KRISHNAN J., SHAPIRO M., 2018. *Understanding modern-day vaccines: what you need to know*. *Ann. Med.* 50, 110-120.
- WHO, 2021a. *Vaccines and immunization: What is vaccination?*, <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/vaccines-and-immunization-what-is-vaccination>.
- WHO, 2021b. *Smallpox*. <https://www.who.int/health-topics/smallpox>.
- WHO, 2021c. *Coronavirus disease (COVID-19): Vaccines*. [https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)-vaccines](https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-(covid-19)-vaccines).
- WOLFF J. A., MALONE R. W., WILLIAMS P., CHONG W., ACSADI G., JANI A., FELGNER P. L., 1990. *Direct gene transfer into mouse muscle in vivo*. *Science* 247, 1465-1468).
- WUJTEWICZ M., DYLCZYK-SOMMER A., ASZKIEŁOWICZ A., ZDANOWSKI S., PIWOWARCZYK S., OWCZUK R., 2020. *COVID-19 – what should anaesthesiologists and intensivists know about it?* *Anaesthesiol. Intens. Therapy* 52, 34-41.
- ZHOU P., YANG X.-L., WANG X.-G., HU B., ZHANG L., ZHANG W., SI H.-R., ZHU Y., LI B., HUANG C.-L., CHEN H.-D. i współaut., 2020. *A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin*. *Nature* 579, 270-273.

**KOSMOS Vol. 70, 3, 451–457, 2021**

MARTYNA JANKOWIAK, PIOTR TRZONKOWSKI

*Department of Immunology, Medical University of Gdańsk, 3a Marii Skłodowskiej-Curie Str., 80-210 Gdańsk, E-mail: martyna.jankowiak@gumed.edu.pl, piotr.trzonkowski@gumed.edu.pl*

VACCINATION – WHY IS IT IMPORTANT?

Summary

Vaccination is one of the simplest and the most effective way of protection against infectious diseases (viral and bacterial). They are a very safe method thanks to which anyone, from newborns to elderly people, can be vaccinated. Each newly developed and subsequently produced series of vaccines undergoes a series of tests confirming their effectiveness, safety and excluding the possibility of contamination. Research conducted on the introduction of new technologies continues in parallel with the attempts to decrease the production costs in order to make the vaccine available on an increasingly larger scale. A high percentage of society vaccinated achieved through the conscientious observance of the vaccination schedule is very important for obtaining herd immunity. As a consequence of the high percentage of immunization (about 90-95%), both vaccinated and unvaccinated are protected.

Key words: COVID-19, immunity, immunology, vaccination