

СТРЕС-АСОЦІЙОВАНІ РОЗЛАДИ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ З ПОРАНЕННЯМИ: ПСИХОСОМАТИЧНІ ПРОЯВИ

STRESS-ASSOCIATED DISORDERS IN WOUNDED MILITARY PERSONNEL: PSYCHOSOMATIC MANIFESTATIONS

У статті висвітлено соціально-психологічні наслідки бойового стресу у військовослужбовців з пораненнями та окреслено комплекс його впливу на психічне, соматичне та поведінкове функціонування особистості. На основі результатів дослідження, що включало опитування 40 військовослужбовців, учасників бойових дій, визначено поширеність посттравматичного стресового розладу (ПТСР) і характерні для нього симптоми: нав'язливі спогади, нічні кошмари, тривожність, емоційна нестабільність, фізіологічні розлади (тахікардія, безсоння), а також прояви гіперреактивності на стресові тригери. Особливу увагу приділено психосоматичним проявам: серцево-судинним захворюванням, хронічному болю, функціональним розладам опорно-рухового апарату, які виявляються у значній частини опитаних.

Зазначено, що хронічний стрес спричиняє глибокі зміни особистості: ригідність, замкненість, соціальне відчуження, порушення соціальних зв'язків. Ветерани стикаються з труднощами працевлаштування, зниженням життєвої мотивації та відчуттям маргіналізації. Часто виявляється уникнення соціальних контактів, що ускладнює процес реінтеграції в мирне життя. Встановлено, що лише незначна частина респондентів зверталася за спеціалізованою психологічною допомогою, що свідчить про актуальність проблеми стигматизації та недовіри до системи охорони психічного здоров'я.

У дослідженні обґрунтовано потребу в розробці цілісної стратегії допомоги – від етапу ранньої діагностики до тривалої психологічної підтримки, профілактики залежностей і сприяння соціальній адаптації. Наголошено на важливості мультидисциплінарного підходу, який об'єднує ресурси медицини, психології, соціальної сфери, а також участь місцевих громад та держави. Матеріали мають практичне значення для фахівців у галузі психічного здоров'я, соціальної роботи, реабілітації та формування політики підтримки ветеранів в умовах воєнного та післявоєнного періодів.

Ключові слова: посттравматичний стресовий розлад (ПТСР), психологічна травма,

реабілітація, стрес-асоційовані розлади, психосоматичні порушення.

The article highlights the socio-psychological consequences of combat stress in wounded military personnel and outlines its complex impact on mental, somatic, and behavioral functioning. Based on the results of a study involving a survey of 40 military personnel, the prevalence of post-traumatic stress disorder (PTSD) and its characteristic symptoms were identified, including intrusive memories, nightmares, anxiety, emotional instability, physiological disturbances (such as tachycardia and insomnia), and heightened reactivity to stress triggers. Particular attention is given to psychosomatic manifestations cardiovascular diseases, chronic pain, and functional disorders of the musculoskeletal system – which were observed in a significant portion of respondents. It is noted that chronic stress leads to profound personality changes: rigidity, social withdrawal, alienation, and disruption of interpersonal connections. Veterans face challenges in employment, decreased life motivation, and feelings of marginalization. Avoidance of social contact is frequently observed, complicating the process of reintegration into civilian life. The study found that only a small percentage of respondents had sought specialized psychological support, indicating the urgent issue of stigmatization and mistrust in the mental healthcare system.

The research substantiates the need to develop a comprehensive support strategy from early diagnosis to long-term psychological care, prevention of substance abuse, and promotion of social reintegration. Emphasis is placed on the importance of a multidisciplinary approach that brings together the resources of medicine, psychology, and social services, along with the involvement of local communities and the state. The findings have practical relevance for professionals in the fields of mental health, social work, rehabilitation, and the development of policies supporting veterans during and after periods of armed conflict.

Key words: post-traumatic stress disorder (PTSD), psychological trauma, rehabilitation, stress-associated disorders, psychosomatic disorders.

УДК 159.923
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5208.2025.72.1.9>

Власенко О.О.

д.психол.н., доцент,
завідувачка кафедри психології,
філософії та суспільних наук
Таврійський національний університет
імені В. І. Вернадського

Макаров О.М.

аспірант
Таврійський національний університет
імені В. І. Вернадського

Постановка проблеми. Російсько-українська війна, як масштабне джерело безпекових загроз для життя людини та чинник соціальної нестабільності, спричинила глибокі трансформації ціннісних орієнтацій у всіх сферах життєдіяльності населення, зокрема серед осіб, які мають досвід участі у гібридному, а згодом – повномасштабному збройному конфлікті. У військовослужбовців, що здобули поранення, це призвело до загострення екзистенційних проблем, пов'язаних із пошуком сенсу життя, переосмисленням власної ролі у світі та визначенням особистісного і соціального при-

значення. Накопичений у ході бойових дій досвід, включно з інтенсивними стресами, психологічними травмами та посттравматичними розладами, комплексно впливає на всі аспекти повсякденного життя військовослужбовців, що відображається у змінах їхньої поведінки, соціальних зв'язків і життєвих стратегій.

Наслідки війни формують специфічний тип стресової реакції – так званий стрес, зумовлений безпосередньою загрозою життю. Йому притаманна швидка, інтенсивна динаміка перебігу, що веде до істотного виснаження функціональних

резервів організму та має потенціал до формування відстрочених наслідків, які можуть проявлятися через тривалий час після травматичних подій. Психопатологічні ефекти збройних конфліктів і війн сьогодні визнаються однією з найгостріших проблем у сфері медицини, психології та соціальної політики, що перебуває у фокусі уваги світової наукової спільноти. Впродовж понад століття ці явища описувалися під різними термінами, зокрема як «посттравматичні стресові порушення у ветеранів Другої світової війни», «синдром війни в Перській затоці», «в'єтнамський синдром», «афганський синдром», «посттравматичний синдром» та «розлади адаптації» [10, 13, 16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема психосоматики та стрес-асоційованих розладів представлена в працях І. Григуса, М. Джеффри, В. Зливкова, Дж. Кіблер, З. Кісарчук, Ф. Колладо, І. Крук., С. Лукомської, Г. Мозгової, Л. Науменко, Л. Наугольник, В. Силвера, Н. Ханецької, О. Федан, О. Червинської, О. Якимчук та ін.

Однак їх дослідження повною мірою не висвітлюють особливості психосоматичних проявів стрес-асоційованих розладів у військовослужбовців з пораненнями.

Метою роботи є дослідження впливу стресу на психологічний стан військовослужбовців з пораненнями за рахунок виявлення психосоматичних проявів та аналізу наявних стрес-асоційованих розладів.

Виклад основного матеріалу. Стрес-асоційовані розлади – це розлади, що пов'язані з наявністю в їх онтогенезі стресу. Встановлення цілеспрямованого впливу стресора є обов'язковим, хоча не достатнім причинним фактором. У нашому дослідженні ми розглядаємо виникнення розладів, що спричинені дією надзвичайної загрози – настання смерті.

Необхідно зазначити, що у відповідності до МКХ-10, всі стрес-асоційовані розлади, які утворилися під впливом стресу (психоемоційного, фізичного) поділяють на:

- реакцію на тяжкий стрес, порушення адаптації;
- гострі та транзиторні психосоматичні розлади;
- розлади поведінки та емоцій, які зазвичай розпочинаються в дитячому та підлітковому віці (у молодшому віці);
- психічні та поведінкові розлади, спричинені вживанням психоактивних речовин.

Фундаментальним біологічним механізмом адаптації є діалектична взаємодія між організмом та зовнішнім середовищем, що забезпечує його стабільність і адаптивність. Цей процес відбувається в межах генетично та фенотипово обумовленої норми реакції, яка визначає можливості пристосування живої системи до змінних умов існування. Сучасна медицина визнає значущість факторів ризику як ключових передумов у розвитку

багатофакторних захворювань, зокрема психічних і соматичних порушень [13, 17]. Стресові чинники відіграють визначальну роль у формуванні невротичних, депресивних і психосоматичних розладів. Особливо важливим у цьому контексті є вплив екстремальних ситуацій, які супроводжуються переживанням сильного страху та тривоги – саме ці емоційні стани часто виступають пусковим механізмом у розвитку посттравматичного стресового розладу (ПТСР) [7, 11]. Учасники бойових дій зазнають тривалого впливу інтенсивних психотравмуючих факторів, які суттєво перевантажують адаптаційні ресурси організму. Це призводить до проявів бойової психічної травми (БПТ) у значної частини військовослужбовців [4, 5]. Одним з найпотужніших психотравмуючих чинників є відчуття безпосередньої загрози життю та фізичному благополуччю. Цей чинник часто поєднується з емоційно насиченим сприйняттям сцен смерті, поранень чи каліцтв інших людей, що залишає глибокий психологічний слід [8].

Під час дослідження проведено опитування 40 військовослужбовців з пораненнями, які проходять реабілітацію в спеціалізованому реабілітаційному центрі. Вікова група від 32 до 54 років. За статтю – всі чоловіки. З них 24 військовослужбовця, що мали активний бойовий досвід та 16 військовослужбовців, що були без нього.

У дослідженні було застосовано комплекс емпіричних методик, що дозволили здійснити кількісну оцінку психоемоційного стану військовослужбовців з пораненнями. Для аналізу специфіки психоемоційних порушень були використані стандартизовані психодіагностичні методики:

- шкала Спілбергера–Ханіна для оцінки ситуативної тривожності (State Anxiety Inventory, SAI);
- шкала Спілбергера–Ханіна для оцінки особистісної тривожності (Trait Anxiety Inventory, TAI);
- шкала депресії Бека (BDI) використовувалась для оцінки рівня депресивних симптомів;
- міссісіпська шкала для оцінки посттравматичних стресових розладів (Mississippi Scale for Combat-Related PTSD) була застосована з метою виявлення рівня посттравматичних реакцій, характерних для військовослужбовців з бойовим досвідом.

Вважається, що ПТСР розвивається у 20-25% людей, що піддалися стресовій дії, але ще зберегли своє фізичне здоров'я; серед поранених поширеність цих порушень – близько 40% [1, с. 4]. Однак, за результатами нашого опитування, 65% респондентів виявили симптоми ПТСР. Серед них, найчастіше відзначалося повторне переживання психотравматичних подій, підвищена тривожність, розлади сну та емоційна нестабільність. У понад 40% учасників було виявлено суттєве уповільнення процесу соціальної адаптації порівняно з тими, хто не має ознак ПТСР. Ці труднощі виявляються у складнощах у відновленні міжособистісних зв'язків, труднощах із працевлаштуванням, зниженні рівня участі в суспільному житті,

а також у загальному погіршенні якості життя після повернення з зони бойових дій.

Близько 30% опитаних зазначили наявність одночасних фізичних захворювань, що поєднувалися з психічними симптомами, зокрема серцево-судинних порушень, хронічного болю або проблем з опорно-руховим апаратом, що підтверджує високий ступінь взаємозалежності між психічним та фізичним здоров'ям ветеранів.

Під час дослідження було також встановлено, що 18 з 40 респондентів демонстрували симптоми гострої реакції на стрес у період безпосереднього перебування в зоні бойових дій. У 9 із них ця реакція мала важкий перебіг, супроводжувалася дезорієнтацією, панічними епізодами та фізіологічними порушеннями. У деяких випадках перехід від гострої стресової реакції до хронічного ПТСР відбувався протягом перших місяців після демобілізації.

Окрему увагу привертає наявність симптомів, пов'язаних із униканням травматичних спогадів – 60% військовослужбовців повідомили про намагання уникати контактів, місць або подій, які нагадують їм про військовий досвід. У 15% випадків спостерігалася формування довготривалого уникнення соціальної взаємодії, що суттєво ускладнює реабілітаційні зусилля.

Отримані результати також підтвердили наявність широкого спектра індивідуальних реакцій на бойовий стрес. Частина респондентів (понад 25%) виявляла ознаки хронічної зміни особистості, що проявлялись у вигляді ригідних, дезадаптивних рис, зниження соціальної активності, недовіри до оточення та емоційного відчуження. Ці симптоми часто ускладнювали процес реінтеграції в мирне життя, формуючи своєрідний «бойовий» тип поведінки, який не відповідає вимогам цивільного середовища.

У 20% опитаних спостерігалися зміни у поведінкових шаблонах, що включали підвищену агресивність, імпульсивність, труднощі з контролем емоцій, уникання соціальних контактів. У деяких випадках це призводило до конфліктів у родинному колі або на роботі. Частина респондентів (12%) повідомила про епізоди гіпервідповідності на тригери – різкі звуки, запахи, певні локації або сцени у фільмах, що асоціювалися з бойовими подіями.

Також зафіксовано випадки, коли військовослужбовці з високим рівнем бойового стресу демонстрували фізіологічні прояви: тахікардію, порушення сну, тремор, епізодичні панічні атаки. У респондентів із тяжким перебігом ПТСР, діагностовано супутні розлади – депресивні стани, тривожні розлади, або залежність від психоактивних речовин (у т.ч. алкоголю).

Психотравмуючі чинники, інтенсивність і непередбачуваність бойових ситуацій, тривале перебування в стані бойової напруги створюють передумови для стійкої дезадаптації.

Ще один важливий висновок, що впливає з аналізу відповідей – це недостатнє звернення

військовослужбовців по спеціалізовану допомогу. Лише 22,5% опитаних, раніше проходили курс психотерапії або зверталися до психіатра. Більшість пояснювали відмову від фахової допомоги недовірою до системи, страхом стигматизації або недостатньою поінформованістю про наявні реабілітаційні програми.

Результати опитування підтверджують загальні закономірності, описані у наукових дослідженнях. Частина респондентів (17,5%) повідомила про прояви симптоматики ПТСР, які виникли не одразу після завершення бойових дій, а через декілька місяців або навіть років. Це свідчить про наявність феномену відтермінованого ПТСР, який часто залишається не діагностованим на ранніх етапах, що значно ускладнює подальше лікування та реабілітацію.

У 25% випадків виявлено ознаки глибокої психічної дезорганізації, що проявлялася у зниженні когнітивних функцій, втомлюваності, проблемах із концентрацією та адаптацією до мирного життя.

Окрім основної симптоматики ПТСР, респонденти часто повідомляли про супутні стани. Зокрема, близько 30% зазначили симптоми депресії, 12,5% – випадки агресивної або аутоагресивної поведінки, а 10% – зловживання алкоголем або іншими психоактивними речовинами. Хронічний біль і порушення сну були присутні у кожного третього з опитаних.

Серед факторів, що підвищували ймовірність розвитку ПТСР, респонденти найчастіше вказували на соціальну ізоляцію (відсутність підтримки з боку сім'ї чи громади), втрату роботи або неможливість реалізації в професійному середовищі. Ці фактори співвідносяться з висновками інших досліджень, які підкреслюють вплив соціального контексту та особистого фону (вік, відсутність соціального капіталу, самотність) на тяжкість перебігу ПТСР.

У респондентів, які мали відчуття визнання з боку суспільства або отримували психологічну допомогу в перші місяці після демобілізації, спостерігався нижчий рівень тривожності та депресивних симптомів.

Також важливо зазначити, що клінічна практика все частіше включає в оцінку психотравматичного стану пацієнтів наявність дитячих травм, зокрема насильства, що накладається на бойову травму та ускладнює перебіг ПТСР.

Для дослідження особливостей психоемоційного стану військовослужбовців була сформована вибірка, яка включала дві групи. До першої (група 1) увійшли військовослужбовці з досвідом участі в бойових діях, тоді як другу групу (група 2) склали військові, які не брали участі в збройному конфлікті. Такий підхід дозволив здійснити порівняльний аналіз впливу бойового досвіду на психоемоційну сферу особистості.

Результати порівняльного аналізу продемонстрували чіткі відмінності у психологічному стані представників обох груп. У військовослужбов-

ців першої групи частіше виявлялися симптоми, характерні для посттравматичного стресового розладу, включно з підвищеною пильністю, емоційним виснаженням, епізодами дезорієнтації та психосоматичними скаргами. Спостерігалася також тенденція до уникання соціальних контактів та зниження рівня довіри до оточення. Натомість у представників другої групи психоемоційні порушення переважно проявлялися в рамках адаптаційних труднощів: внутрішньої тривоги, зниженого настрою, емоційної лабільності. Деякі з них демонстрували ознаки професійного вигорання та зниження мотивації до служби, що може бути пов'язано із загальним психоемоційним навантаженням, навіть за відсутності бойового досвіду.

Такий розподіл симптоматики підкреслює важливість розробки та впровадження диференційованих програм психосоціальної реабілітації, орієнтованих на індивідуальний досвід і ступінь травматизації. Водночас доцільним є врахування не лише факту участі у бойових діях, а й загального психоемоційного фону служби у військових умовах, що може справляти тривалий вплив на психологічне благополуччя особового складу.

Формування специфічної картини «повоєнна патологія», яка охоплює комплекс психічних, соматичних та неврологічних розладів, що мають спільну етіологічну основу, пов'язану з пережитими бойовими стресами, пораненнями, отруєннями або тяжкими інфекціями під час війни [14].

Згідно з МКХ-10, ПТСР включає повторне переживання травми у вигляді нав'язливих спогадів, нічних кошмарів, тривожних станів, а також психоемоційну глухість, втрату інтересу до соціальних контактів і явне уникання ситуацій, що асоціюються з травматичним досвідом. У нашому опитуванні близько 70% респондентів з ознаками ПТСР повідомили про нав'язливі спогади та труднощі із засинанням, а 42% – про уникання певних людей або ситуацій, які асоціювалися з травмуючими подіями.

Окрім основної симптоматики, виявлено також супутні порушення – у 40% випадків спостерігались депресивні симптоми, в 15% – аутоагресивна або гетероагресивна поведінка, а у 10% – зловживання психоактивними речовинами.

Дослідження показують, що психогенні наслідки війни обумовлені не лише самим фактом бойового впливу, а й супутніми соціальними та психологічними змінами: порушенням звичного способу життя, втратою звичних соціальних ролей, зміною життєвих орієнтирів. Ці зміни провокують як гострі, так і хронічні психосоматичні порушення.

Важливо також враховувати, що формування стрес-асоційованих розладів може мати як негайний (гострий), так і відтермінований характер. У деяких випадках симптоми з'являються через тижні або місяці після завершення патогенного впливу, часто під впливом вторинних (на перший погляд незначних) тригерів – зміни в сім'ї, труд-

нощі з працевлаштуванням, соціальна ізоляція тощо.

Формування психічних і психосоматичних розладів залежить від низки взаємопов'язаних чинників: типу отриманої психотравми, наявності тілесних ушкоджень або контузій, генетичної вразливості до стресу та умов післявоєнного існування – зокрема, рівня соціальної підтримки, доступу до медичних послуг, наявності реабілітаційних програм.

Результати дослідження свідчать про те, що військовослужбовці, які брали участь у бойових діях, виявляють різноманітні стрес-асоційовані розлади – від гострих стресових реакцій до тривалих особистісних змін. У нашій вибірці 65% респондентів виявила симптоми, які відповідали критеріям ПТСР, тоді як 12,5% мали ознаки тривожних розладів з тенденцією до затяжного перебігу.

Окрім безпосередніх проявів психотравм, значна частина опитаних повідомила про постійні obsesивно-фобічні переживання, які фокусуються не на власній безпеці, а на безпеці близьких. Відповідно до клінічних описів, це відповідає класичній динаміці розвитку вторинних тривожних станів у структурі хронічного ПТСР.

Висновки. Гострі стресові реакції у військовослужбовців є поширеним і значущим явищем, що вимагає ранньої діагностики та невідкладної допомоги. Посттравматичний стресовий розлад має широкий спектр клінічних форм і тривалий хронічний перебіг, що значно ускладнює соціальну адаптацію та повернення до повноцінного життя. Хронічні зміни особистості після бойових дій можуть бути не менш руйнівними, ніж фізичні поранення, і вимагають не лише терапії, а й тривалої соціальної підтримки.

Проведене дослідження підтверджує тісний зв'язок між рівнем психоемоційного навантаження під час бойових дій та ефективністю подальшої медико-психологічної реабілітації. Стрес, особливо його хронічні та відтерміновані форми, є критичним фактором, що істотно ускладнює як фізичне відновлення, так і соціальну адаптацію постраждалих.

Гостра реакція на стрес, як прояв бойової психічної травми, суттєво впливає на боєздатність підрозділів і потребує негайної стабілізації. Однак, відтерміновані наслідки ПТСР, коморбідні стани й адаптаційні ускладнення, які виникають у постраждалих, впливають на все суспільство та вимагають розробки цілісної національної стратегії з психологічної допомоги і реабілітації на рівні держави. Тому, подальші дослідження цього питання є основою для задоволення потреби у комплексному вирішенні цієї проблеми.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Зликов В.Л., Лукомська С.О., Федан О.В. Психодіагностика особистості у кризових життєвих ситуаціях. Київ : Педагогічна думка, 2016. 219 с.
2. Крук І.М., Григус І.М. Сучасний погляд на психологічну реабілітацію військовослужбовців з пост-

травматичним стресовим розладом. *Реабілітаційні та фізкультурно-рекреаційні аспекти розвитку людини* (Rehabilitation & recreation). 2023. № 15. С. 50–56. URL: <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2023.15.6>

3. Лікування та реабілітація комбатантів-мироотворців із посттравматичним стресовим розладом. О.Г. Сиропятов, О.К. Напрєєнко, Н.О. Дзеружинська, О.А. Красюк, Г.В. Осьодло, Н.Ю. Петрина, Ю.М. Астапов. *Керівництво для лікарів та психологів*. Київ : УВМА, 2012. 69 с.

4. Науменко Л. Ю. Питання медико-соціальної реабілітації учасників АТО при посттравматичному стресовому розладі. Л. Ю. Науменко, І. С. Борисова, В. М. Березовський. *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2017, № 17, Вип. 4 (1). С. 239–245.

5. Прогностична оцінка потреби у медичній реабілітації військовослужбовців Збройних Сил України на основі даних структури їх бойової травми. А. В. Швець та ін. *Український журнал військової медицини* (Ukrainian journal of military medicine). 2022, Т. 3, № 3. С. 111–119. URL: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.3\(3\)-110](https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.3(3)-110)

6. Ann Marie Nayback. Posttraumatic Stress: A Concept Analysis. *Archives of Psychiatric Nursing*. Vol. 23. 2009. P. 210–221. ISSN 0883-9417. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apnu.2008.06.001>

7. Booth-Kewley S., Schmied E.A., Highfill-McRoy R.M. et al. Predictors of psychiatric disorders in combat veterans. *BMC Psychiatry*. 13. 130. 2013. URL: <https://doi.org/10.1186/1471-244X-13-130>

8. Figley Charles R. and William Nash. Combat stress injury: *Theory, research, and management*. Routledge. 2011.

9. Goodwin J. The etiology of combat-related post-traumatic stress disorders. *Post-traumatic stress disorders: A handbook for clinicians* (2nd rev. and exp. ed. P. 1–18). Disabled American Veterans.

10. Haley R.W. Is Gulf War syndrome due to stress? The evidence reexamined. 1997, 146(9). P. 695–705. URL: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009343>

11. Hoge Charles. Once a warrior – Always a warrior: Navigating the transition from combat to home – including combat stress, PTSD and mTBI. *Rowman & Littlefield*. 2010.

12. Jeffrey M., Collado F., Kibler J. et al. Post-traumatic stress impact on health outcomes in Gulf War Illness. *BMC Psychol* 9. 57, 2021. URL: <https://doi.org/10.1186/s40359-021-00561-2>

13. Kramarow E.A. The health of male veterans and nonveterans aged 25-64, United States, 2007-2010. *US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics*. 2012. №.101. P. 1–8.

14. MacLean M.B., Van Til L., Thompson J.M., Sweet J., Poirier A., Sudom K., Pedlar D.J. Postmilitary adjustment to civilian life: potential risks and protective factors. *Phys Ther*. 2014 Aug. 94(8). 1186–95. URL: <https://doi.org/10.2522/ptj.20120107>

15. Weir E. Veterans and post-traumatic stress disorder. *CMAJ*. 2000 Oct 31.163(9).1187. PMID: 11079072. PMCID: PMC80272.

16. Zhu Z., Zheng Z., Zhang F. et al. Causal associations between risk factors and common diseases inferred from GWAS summary data. *Nat Commun* 9, 224. 2018. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02317-2>