

Se l'innovazione digitale spinge l'immunoallergologia pediatrica

Alberto E. Tozzi

Area di Ricerca Malattie Multifattoriali e Malattie Complesse, Ospedale Bambino Gesù, Roma

PREMESSE

Senza nessun preavviso siamo improvvisamente piombati in un'epoca che impone una riflessione urgente sul futuro. La pandemia da SARS-COV-2 ha cambiato radicalmente il paradigma dell'assistenza sanitaria e difficilmente questo cambiamento sarà temporaneo. È il momento in cui le soluzioni innovative, comprese quelle tecnologiche, entrano prepotentemente in campo perché risolvono alcuni dei punti chiave dell'emergenza pandemica: la rapidità di azione, la necessità di mantenere distanze sociali, il supporto all'autonomia del paziente, la semplificazione. Non è un caso che le prestazioni mediche da remoto abbiano subito un'improvvisa impennata perfino nel nostro Paese dove abbiamo finalmente preso coscienza del fatto che la telemedicina è uno strumento utile e affidabile. Molte applicazioni tecnologiche riguardano specificamente l'allergologia e hanno implicazioni pratiche per la pediatria. La lezione che stiamo imparando, volenti o nolenti, è che la pressione dell'emergenza ci costringe a pensare nuovi processi e a capire che questa è l'essenza dell'innovazione, laddove la tecnologia rappresenta solo uno strumento a supporto.

Connettività e comunicazione a distanza

In nome dell'empatia tra medico e paziente e della qualità delle cure abbiamo fatto di tutto per privilegiare il contatto diretto medico-paziente in persona, con qualche difficoltà nella gestione operativa, salvo renderci conto durante l'emergenza COVID-19 che alcune prestazioni possono essere sostituite da una videochiamata. Non è il caso di estremizzare, ma non vi è dubbio che questa emergenza sia la più grande opportunità formativa in tema di strumenti digitali per la salute, in primis quelli per la comunicazione a distanza. Ovviamente l'aspetto tecnologico è secondario rispetto al processo che deve essere messo a punto per standardizzare questo tipo di prestazioni. Sarebbe estremamente riduttivo pensare che la telemedicina si possa ridurre a una videochiamata, perché la grande opportunità che stiamo vivendo è la possibilità che invece di sostituire *d'emblée* le prestazioni in persona con prestazioni da remoto, possiamo reinventare percorsi diagnostico terapeutici completamente digitali o ibridi. Questa possibilità è di valore perché permette di creare degli standard che sono essenziale premessa per la replicabilità dei processi e per la loro valutazione. La tecnologia ci aiuta: ormai la connettività a internet è disponibile ovunque senza costi o a costo molto basso, la qualità della connessione disponibile (larghezza di banda e velocità) aumenta costantemente, e il dispositivo ubiquitario per la connessione, lo smartphone, è sempre in tasca a ogni individuo.

Misurare qualsiasi cosa ovunque

La tecnologia ha fatto passi da gigante nel campo della biosensoristica. Il risultato è che oggi sono a disposizione sensori di dimensioni microscopiche, dal costo irrisorio, e in grado di riconoscere e talvolta misurare i livelli di sostanze chimiche su matrice solida, liquida o gassosa. Esistono quindi le condizioni per eseguire test clinici fuori dal laboratorio, ed è possibile dare al paziente la possibilità di misurare, nel luogo in cui si trova, parametri ambientali altrimenti non disponibili. Dal punto di vista delle tecnologie, i sensori per la diagnostica e la misura delle sostanze ambientali si avvalgono della microfluidica e di altri principi bioelettrici la cui applicazione potrebbe cambiare radicalmente le modalità di approccio alla diagnostica.

Pediatria futura: tecnologia e intelligenza artificiale in immunoallergologia

CORRISPONDENZA

Alberto E. Tozzi

albertoeugenio.tozzi@opbg.net

Conflitto di interessi: l'Autore dichiara di non avere alcun conflitto di interessi rispetto agli argomenti trattati nell'articolo.

Come citare questo articolo: Tozzi AE.

Se l'innovazione digitale spinge l'immunoallergologia pediatrica. Rivista di Immunologia e Allergologia Pediatrica 2020;34(02):-2-6.

© Copyright by Società Italiana di Allergologia e Immunologia Pediatrica



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Buona parte dell'innovazione in questo settore riguarda la possibilità di rilevare parametri che normalmente si misurano su sangue, ma in maniera non invasiva. Aggiungendo le piccole dimensioni di questi oggetti, è comprensibile il grande potenziale offerto dalla portabilità e dalla misura ripetuta di parametri che altrimenti si rileverebbero solo in laboratorio. Il tema della standardizzazione e della qualità delle rilevazioni in questo settore è cruciale e richiede estrema attenzione allo scopo di perseguire la precisione delle misure.

Potenziare la capacità di interpretazione dei dati

Una delle frontiere più interessanti offerte dalla tecnologia riguarda l'applicazione di sistemi di intelligenza artificiale. La grande potenza di calcolo disponibile a basso costo, perfino su sistemi portatili, ha contribuito ad aumentare le esperienze in merito e, ovviamente, le aspettative. In sintesi, i sistemi di intelligenza artificiale hanno la possibilità di gestire grandi quantità di dati e di eseguire operazioni di predizione (del tutto simili alle regressioni statistiche tradizionali). I sistemi di intelligenza artificiale imparano (e se i dati a disposizione sono tanti, imparano molto bene) e interpretano nuovi dati confrontandoli con quelli che hanno utilizzato durante il training. Questi sistemi consentono di valutare pattern di dati anche molto complessi e insiememente di fattori predittivi che con le usuali tecniche statistiche sarebbe complesso riconoscere. La capacità analitica di questi sistemi si estende a due campi di applicazione particolari. Uno è l'analisi del linguaggio naturale. Siamo ancora abituati a dare per scontato che alcune informazioni sono registrate in testo libero, talvolta neanche annotato in forma digitale. Ai sistemi di intelligenza artificiale si può "insegnare" ad interpretare il linguaggio naturale estraendo informazioni sintetiche. Ulteriore campo di applicazione dei sistemi di intelligenza artificiale è l'analisi delle immagini. Queste ultime, possono subire livelli di classificazione e interpretazione impossibili con un intervento manuale.

Dare al paziente e alla famiglia l'autonomia che si meritano

L'oggetto che ha cambiato le prospettive di cura e di ricerca scientifica, insieme alla connettività a internet, è indubbiamente lo smartphone. Questo dispositivo non solo ci accompagna praticamente ovunque, ma può essere sempre connesso, ha a bordo una potenza di calcolo sufficiente per eseguire operazioni complesse e ha già in dotazione alcuni sensori. Certo, non si può pensare che questi dispositivi siano a diretta disposizione del bambino (con altri eventuali ricadute negative), ma certamente sono sempre a disposizione dei genitori. La possibilità di comunicare continuamente e di elaborare dati e misure consente di fornire alla famiglia strumenti che possono restituire, dove possibile, un'autonomia e una responsabilità che spesso è delegata, a tutto vantaggio della tempestività e della personalizzazione delle cure.

Verso un fenotipo digitale

Tutti gli individui (e per i bambini i loro caregivers) lasciano tracce

digitali ovunque. I commenti e le interazioni che avvengono online, in particolare sui social network, ne sono un esempio. Sono anche tracce digitali i dati che possono essere misurati attraverso dispositivi indossabili oppure dal solito smartphone. Questi dati hanno valore informativo sulla salute della persona e si possono aggiungere ai dati clinici per caratterizzare il fenotipo di una malattia. Ecco il fenotipo digitale ¹ una dimensione che si aggiunge a quelle cliniche alle quali siamo abituati e che può arricchire le osservazioni che servono per la diagnosi e la terapia.

L'IMPATTO DELLE TECNOLOGIE DIGITALI IN IMMUNOALLERGOLOGIA PEDIATRICA

Migliore aderenza e personalizzazione delle terapie

Prendiamo l'asma bronchiale. Una patologia spesso fuori controllo per una non adeguata compliance alla terapia. Quest'ultima rappresenta una delle cause principali di ricovero ospedaliero, morte improvvisa, aumento dei costi di cura e bassa qualità della vita ^{2,3}. Molte soluzioni sono state proposte per inviare un richiamo al paziente per non dimenticare la somministrazione della terapia, complice il telefonino. Misurare davvero quanta terapia fa il paziente però è altra cosa. Sono ormai disponibili dispositivi che consentono di monitorare a distanza il numero di puffi di broncodilatatore che il paziente assume. Provate a immaginare una applicazione installata sul telefonino che permette di registrare anche i dati derivati da uno spirometro portatile. Poi aggiungete un sistema *social* che segnala le aree dove il paziente accusa un peggioramento dei sintomi. Collegate poi i dati di monitoraggio derivanti dai sistemi di aerobiologia. E magari collegate anche un sensore che vi avverte con un segnale sul telefonino se il farmaco sta per finire o se avete lasciato il nebulizzatore a casa. In tempi non sospetti, sulle pagine della RIAP avevamo ospitato David van Sickle, un ricercatore che si occupava di sensori per i nebulizzatori ⁴. van Sickle dirige oggi Propeller Health, una piattaforma che riunisce tutte le funzioni sopra descritte, un vero e proprio assistente personale per il paziente. Le piattaforme di questo tipo hanno un impatto misurabile sulle cure sia dal punto di vista clinico che economico ^{5,6}, anche se l'aderenza alle terapie declina sempre nel tempo indipendentemente dall'uso di tecnologie. Al ritmo di almeno 200 nuove app al giorno disponibili sui market digitali ci sarà bisogno di attenzione e metodo per misurarne l'efficacia e la qualità, terreno ancora abbastanza poco standardizzato ⁷. Questi sistemi migliorano comunque l'aderenza alla terapia, il controllo dell'asma, la qualità della vita e l'uso dei sistemi sanitari ⁸. In generale, gli interventi digitali per la gestione dell'asma bronchiale in età pediatrica sono promettenti e dovrebbero tuttavia essere maggiormente studiati in studi sperimentali controllati. Stiamo entrando in un tempo nel quale possiamo disporre di strumenti digitali per la terapia. Invece di avere una molecola chimicamente riconoscibile in un farmaco, il principio attivo è un software. Queste sono le terapie

digitali ⁹ che possono essere usate da sole o in combinazione con farmaci tradizionali. Il loro potenziale è grande soprattutto per alcune malattie croniche che sono difficilmente controllabili. Ma se si tratta di terapie come gli altri farmaci, quale sarà il processo di sviluppo e di verifica di sicurezza ed efficacia? Alla fine del 2019 la Germania ha messo in atto un percorso rapido per l'approvazione e il rimborso di terapie digitali e altre applicazioni digitali le cui prove di efficacia e sicurezza vengano completate in 12-24 mesi ¹⁰. È verosimile che un atteggiamento simile provochi una reazione da parte degli altri Paesi Europei e dell'EMA.

Oltre i sensori

In tema di sensoristica c'è disponibilità di numerose soluzioni interessanti per l'immunoallergologia. Una prima area di interesse riguarda la sensoristica per le sostanze volatili e gli inquinanti. Siamo abituati a rilevazioni centralizzate e statiche dei parametri che riguardano queste sostanze che vengono effettuate prevalentemente da agenzie governative. Esistono già in commercio dispositivi che consentono di monitorare la qualità dell'aria in ambiente domestico o addirittura con un dispositivo portatile ¹¹. Questi dispositivi potrebbero consentire di studiare più approfonditamente la relazione tra alcune manifestazioni respiratorie e la concentrazione di sostanze nell'ambiente. Sono di particolare interesse le concentrazioni di particolato, la cui relazione con affezioni respiratorie è tutta da studiare. Ma se volessimo misurare la concentrazione di allergeni? Probabilmente potremo fare anche questo. Il meccanismo in corso di sviluppo per realizzare questo obiettivo da parte di un'azienda tecnologica si fonda su un ingegnoso principio: una pompa per l'aspirazione dell'aria, una superficie adesiva che fissa le particelle in sospensione nell'aria e una sorgente laser che illumina le particelle. Viene creato un ologramma che può essere trattato come un'immagine da confrontare con una opportuna banca dati ¹². È facile immaginare come una simile tecnologia potrebbe consentire non solo di affinare i processi diagnostici delle malattie allergiche, ma soprattutto consentire al paziente di effettuare un monitoraggio autonomo della concentrazione degli allergeni e guidare i relativi comportamenti.

Ma non è finita qui. È possibile miniaturizzare uno spettrometro e con esso costruire un sistema per riconoscere alcuni allergeni alimentari. O il glutine. In pratica è possibile fornire al paziente con una patologia allergica grave (o la celiachia) uno strumento per verificare l'assenza di sostanze che possono innescare una patologia allergica grave o compromettere altri tipi di dieta. Degno di nota il fatto che la fondatrice della compagnia che produce questo dispositivo ha una figlia con allergie alimentari multiple, anche se il sistema che è stato sviluppato ha ancora una sensibilità non adeguata a tutte le situazioni cliniche ¹³. Naturalmente, la possibilità di riconoscere sostanze contenute negli alimenti con uno spettrometro di massa nelle mani del paziente apre scenari impensabili. Basti pensare alla raccolta continua di dati con questo sistema che potrebbe generare una solida base per algoritmi di intelligenza artificiale e la modulazione di regimi di alimentazione su misura come lascia immaginare la campagna di comunicazione dell'azienda produttrice di questo strumento.

Infine, un altro esempio interessante è dato dalla possibilità di registrare anche in modo continuo gli accessi di tosse di un paziente su una traccia audio ¹⁴. Un simile approccio consentirebbe di costruire facilmente una banca dati su larga scala sulla quale addestrare algoritmi di intelligenza artificiale e assegnare diverse tipologie di tosse ad altrettante patologie.

Analizzare le immagini

Se l'intelligenza artificiale sta rivoluzionando la diagnostica radiologica, non c'è dubbio che questa tecnologia abbia rilevanza per la diagnostica e la gestione delle immagini dermatologiche. Come sappiamo, gli algoritmi di intelligenza artificiale ci vedono benissimo, meglio dell'occhio umano. Se poi questi potenti strumenti vengono messi a disposizione del paziente, sul proprio smartphone, è facile comprenderne il potenziale. Non solo è possibile eseguire diagnosi a distanza, ma il paziente ha la possibilità di monitorare nel tempo l'andamento di una lesione dermatologica. Si può esercitare in dermatologia l'azione combinata della diagnosi da remoto (assistita possibilmente da algoritmi addestrati su grandi basi di dati) e del monitoraggio dell'efficacia della terapia, come potrebbe essere nei casi di dermatite atopica grave. Con questo, la prospettiva non è quella di sostituire gli specialisti con degli algoritmi, ma quella di mettere a disposizione del medico e del paziente sistemi che semplifichino i processi, rendano più rapide le diagnosi semplici e consentano di concentrarsi sulle diagnosi più difficili. Dal punto di vista tecnico, si è scoperto che i processori pensati per gestire la grafica dei computer vanno benissimo per far girare programmi di intelligenza artificiale dedicati alle immagini compreso l'uso delle *convolutional neural network*, i sistemi che hanno rivoluzionato l'analisi digitale delle immagini ¹⁵. Questi sistemi possono beneficiare di dermoscopi che non hanno necessità di essere appoggiati sulle lesioni e che quindi hanno potenziale applicazione soprattutto nel bambino evitando almeno in parte procedure invasive ¹⁶.

Altre tracce digitali

In tema di fenotipo digitale bisogna ricordare che le persone si raccontano. E se stanno male pubblicano i propri sintomi sui social network oppure cercano conforto su un motore di ricerca. In fondo Google ci aveva già pensato a usare i termini di ricerca sul motore più famoso del mondo per predire la diffusione dell'influenza. Non tutti sono d'accordo sul fatto che queste tracce digitali siano utili, però la relazione tra sintomi di rinite allergica, assunzione di anti-istaminici dichiarati su Twitter e concentrazione di pollini è evidente ¹⁷. Per una patologia per la quale non esiste un sistema di sorveglianza potrebbe essere una buona soluzione.

Tele-immuno-allergologia

A questo punto è intuitivo come le cure e le interazioni a distanza, quello che normalmente viene definito telemedicina, può essere molto di più che una semplice videochiamata. Le discipline specialistiche che erogano prestazioni a distanza possono fare tesoro di un nutrito armamentario di tecnologie e dispositivi per costruire veri percorsi digitali per il paziente con specifiche patologie. La possibilità di rilevare

a distanza segni e misure digitali, di eseguire misure ripetute, e di erogare perfino terapie attraverso strumenti digitali, cambia tutto. D'altra parte l'allergologia rappresenta un terreno ideale per la telemedicina perché i pazienti sono per la maggior parte del tempo sani, eseguono frequenti visite mediche, e possono trasmettere informazioni multimediali a distanza in forma sincrona e asincrona, comprese eventuali manifestazioni cliniche da sensibilizzazione in tempo reale¹⁸. Inoltre, la telemedicina rappresenta un'opportunità per il bambino con esigenze di salute speciali le cui famiglie potrebbero essere direttamente coinvolte nel disegno e nella pianificazione di programmi di salute digitale dedicati¹⁹.

Intelligenza artificiale al servizio del medico e del paziente

La miniera di informazioni dispersa nelle note cliniche, anamnesi compresa, può essere intercettata e interpretata con l'aiuto dell'intelligenza artificiale attraverso l'interpretazione del linguaggio naturale. Pensiamo all'asma bronchiale. È possibile definire alcune regole per setacciare i dati delle cartelle cliniche elettroniche: una diagnosi già posta da un altro medico, una storia di tosse con wheezing, dispnea, elevati livelli di IgE, ed altro²⁰. Una volta addestrato l'algoritmo a riconoscere come queste informazioni vengono descritte nel linguaggio comune, è come avere un test diagnostico. E l'algoritmo più si allena, più impara e più è preciso.

Lo stesso meccanismo può essere utilizzato per scovare altre diagnosi che potrebbero addirittura essere misconosciute: dermatite atopica, allergie alimentari, allergie ai farmaci.

Uno strumento in grado di interpretare il linguaggio naturale ha numerose possibili implicazioni, dalla deduzione della compliance alle terapie, alle premesse per consolidare le informazioni necessarie per sviluppare i sistemi di decisione clinica assistita, alla possibilità di usare questa tecnologia per attività di ricerca con la quale raccogliere dati da archivi non strutturati. Nel caso, ad esempio, delle allergie a farmaci, un sistema di decisione assistita si può basare sui dati forniti dal paziente durante l'anamnesi²¹.

Fare una ricerca scientifica migliore

Ora che abbiamo confidenza con la tecnologia che di fatto si trova, attraverso lo smartphone, nelle mani del paziente, siamo pronti per disegnare studi scientifici che dalla tecnologia possano trarre il massimo vantaggio. Con le dotazioni di cui abbiamo discusso la porta è aperta ai *patient reported outcomes*, le informazioni di esito che vengono registrate direttamente dal paziente senza intermediazioni. Inoltre, attraverso il telefonino, è possibile registrare continuamente dati che provengono da sensori collegati. A tutti gli effetti questi sono marker digitali di malattia e la strada è aperta per misurare in modo digitale marker tradizionali di malattia ma anche per individuare nuovi marker digitali per nuovi outcome di malattia²². Questa prospettiva richiede un attento percorso e una esplorazione attenta delle alternative alle misure di esposizione e di outcome tradizionali per verificarne la validità. Non c'è dubbio che i sistemi di intelligenza artificiale pos-

sano permettere di setacciare letteralmente tutte le notazioni di testo libero nella cartella clinica per intercettare diagnosi allergologiche²³.

DALLE SOLUZIONI TECNOLOGICHE ALLA PRATICA

Lo spettro delle applicazioni delle tecnologie digitali in allergologia è ampio e molte tecnologie sono già state sviluppate o hanno potenziale per la maggior parte delle condizioni di questa disciplina²⁴, ma non sono le soluzioni pronte a fare l'innovazione, ma l'identificazione dei problemi e l'uso che di queste tecnologie si può fare. Sotto pressione è necessario cambiare i processi di cura e rispondere rapidamente alle mutate esigenze. Riprogrammare le attività di allergologia con l'aiuto della telemedicina è solo uno dei tanti cambiamenti che si possono immaginare. L'uso di prestazioni da remoto insieme ad una accurata pianificazione e assegnazione delle priorità dei pazienti allergologici in corso di pandemia è un'innovazione di processo e una lezione per il futuro²⁵.

L'emergenza che viviamo costringe i clinici ad avvicinarsi ai temi della salute digitale fino alla comprensione dei principi dell'intelligenza artificiale. L'interdisciplinarietà è una delle chiavi di lettura di questo scenario che ha implicazioni anche nella formazione del medico e del pediatra. Se riusciremo a perseguire questo approccio potremo rivoluzionare i percorsi clinici di molte patologie e, ancora una volta, asservire le tecnologie che sembrano complesse, alle esigenze cliniche espresse dal medico e dal paziente²⁶. Siamo, inoltre, appena all'inizio dell'applicazione di nuovi approcci per la ricerca scientifica nella quale le app sconvolgeranno le metodologie tradizionali e i parametri che siamo abituati a rilevare²⁷. Non solo parametri clinici rilevati direttamente dal paziente ma anche nuovi marker di malattia che ci aiuteranno a stratificare più accuratamente le popolazioni in studio. Insieme all'entusiasmo per il nuovo bisogna considerare i rischi connessi che dovrebbero essere attentamente valutati da vari punti di vista. Esiste sicuramente un problema regolatorio dato che molte applicazioni digitali si trovano nella zona grigia tra applicazione consumer e strumenti medicali²⁸. Dovremo infatti sempre più affidarci a percorsi di certificazione delle tecnologie digitali simili a quelli che vengono applicati per i farmaci e i dispositivi medici propriamente detti e riflettere sulle sfide metodologiche correlate. Il tema caldissimo del rilevamento dei *patient reported outcomes* o di dati continuamente raccolti da sensori attraverso lo smartphone pone per esempio alcuni problemi metodologici che possono avere un impatto sul successo delle ricerche cliniche che adottano queste tecnologie²⁸. Non c'è dubbio che l'allergologia sia all'avanguardia più di altre discipline come mostra la grande attenzione di questa specialità agli strumenti digitali²⁹. È necessario che i clinici esercitino la massima pressione perché i cambiamenti radicali che possiamo ottenere dall'introduzione di essi nella pratica clinica siano continuamente fondati su misure di efficacia e sicurezza. E non è una sfida da poco vista la velocità con la quale le tecnologie vengono prodotte e modificate.

Bibliografia

- 1 Jain SH, Powers BW, Hawkins JB, et al. The digital phenotype. *Nat Biotechnol* 2015;33:462-3.
- 2 Morton RW, Everard ML, Elphick HE. Adherence in childhood asthma: the elephant in the room. *Arch Dis Child* 2014;99:949-53.
- 3 Klok T, Kaptein AA, Brand PL. Non-adherence in children with asthma reviewed: the need for improvement of asthma care and medical education. *Pediatr Allergy Immunol* 2015;26:197-205.
- 4 Van Sickle D. Sfide nella gestione dell'asma: le tecnologie emergenti. *Rivista di Immunologia e Allergologia Pediatrica* 2010;24(04):2-9.
- 5 Foster JM, Reddel HK, Usherwood T, et al. Patient-perceived acceptability and behaviour change benefits of inhaler reminders and adherence feedback: a qualitative study. *Respir Med* 2017;129:39-45.
- 6 Morton RW, Elphick HE, Rigby AS, et al. STAAR: a randomised controlled trial of electronic adherence monitoring with reminder alarms and feedback to improve clinical outcomes for children with asthma. *Thorax Online First* 2016;0:1-8.
- 7 Kagen S, Garland A. Asthma and allergy mobile apps in 2018. *Curr Allergy Asthma Rep* 2019;19:6.
- 8 Ramsey RR, Plevinsky JM, Kollin SR, et al. Systematic review of digital interventions for pediatric asthma management. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2019;pii: S2213-2198.
- 9 Makin S. The emerging world of digital therapeutics. *Nature* 2019;573:S106-S109.
- 10 https://www.bundesgesundheitsministerium.de/digitale-versorgung-gesetz.html?fbclid=IwAR3fF1YE9CMg0HfFKPLF3N6iaTmUxyONNob20lgFhpX1Bx_aps_hdfeg6Fw
- 11 Arroyo P, Herrero JL, Suárez JI, et al. Wireless sensor network combined with cloud computing for air quality monitoring. *Sensors (Basel)* 2019;19(3).
- 12 Wu Y, Calis A, Luo Y, et al. Label-free bioaerosol sensing using mobile microscopy and deep learning. *ACS Photonics* 2018;11:4617-27.
- 13 <https://tellspec.com/>
- 14 Monge-Alvarez J, Hoyos-Barcelo C, Llesco P, et al. Robust detection of audio-cough events using local hu moments. *IEEE J Biomed Health Inform* 2019;23:184-96.
- 15 Du-Harpur X, Watt FM, Luscombe NM, et al. What is AI? Applications of artificial intelligence to dermatology. *Br J Dermatol* 2020;1:1-8.
- 16 Heratizadeh A, Fricke D, Meinhardt-Wollweber M, et al. Non-contact remote digital dermoscopy - new perspectives on differential diagnosis of inflammatory skin diseases. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2020;34:e125-e126.
- 17 Gesualdo F, Stilo G, D'Ambrosio A, et al. Can Twitter be a source of information on allergy? Correlation of pollen counts with tweets reporting symptoms of allergic rhinoconjunctivitis and names of antihistamine drugs. *PLoS One* 2015;10:e0133706.
- 18 Elliott T, Yopes MC. Direct-to-consumer telemedicine. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2019;7:2546-52.
- 19 Bird M, Li L, Ouellette C, et al. Use of synchronous digital health technologies for the care of children with special health care needs and their families: scoping review. *JMIR Pediatr Parent* 2019;2:e15106.
- 20 Juhn Y, Liu H. Artificial intelligence approaches using natural language processing to advance EHR-based clinical research. *J Allergy Clin Immunol* 2020;145:463-9.
- 21 Légat L, Van Laere S, Nyssen M, et al. Clinical decision support systems for drug allergy checking: systematic review. *J Med Internet Res* 2018;20:e258.
- 22 Streiff F, Groenen PMA, Miho E. Traditional and digital biomarkers: two worlds apart? *Digit Biomark* 2019;3:92-102.
- 23 Juhn Y, Liu H. Artificial intelligence approaches using natural language processing to advance EHR-based clinical research. *J Allergy Clin Immunol* 2020;145:463-9.
- 24 Matricardi PM, Dramburg S, Alvarez-Perea A, et al. The role of mobile health technologies in allergy care: An EAACI position paper. *Allergy* 2020;75:259-72.
- 25 Shaker MS, Oppenheimer J, Grayson M, et al. COVID-19: pandemic contingency planning for the allergy and immunology clinic. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2020 pii: S2213-2198(20)30253-1.
- 26 Messinger AI, Luo G, Deterding RR. The doctor will see you now: How machine learning and artificial intelligence can extend our understanding and treatment of asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2020;145:476-8.
- 27 Genes N, Violante S, Cetrangol C, et al. From smartphone to EHR: a case report on integrating patient-generated health data. *NPJ Digit Med* 2018;1:23.
- 28 Bousquet J, Ansotegui IJ, Anto JM, et al. Mobile technology in allergic rhinitis: evolution in management or revolution in health and care? *J Allergy Clin Immunol Pract* 2019;7:2511-23.
- 29 Bousquet JJ, Schünemann HJ, Togias A, et al. Next-generation ARIA care pathways for rhinitis and asthma: a model for multimorbid chronic diseases. *Clin Transl Allergy* 2019;9:44.