

Governance nell'innovazione: Sanità Digitale, Mobile Health, Big Data, Virtual Reality

Francesco Burrai¹, Valentina Micheluzzi², Luigi Apuzzo³

¹SC Formazione, Ricerca e Cambiamento Organizzativo, ATS Sardegna, Sassari - Italy

²Azienda Ospedaliero-Universitaria di Sassari, Sassari - Italy

³Hospice Carlo Chenis, Asl Roma 4, Rome - Italy

Innovation Governance: Digital Health, Mobile Health, Big Data, Virtual Reality

The introduction of modern Information and Communication Technologies (ICT) was one of the most remarkable innovations of recent decades. ICT brings with it a remarkable technological background that conveys all kinds of information and multimedia content with a significant change in human-technology interaction and significant implications also in the health sector. The constant process of digitization is increasingly affecting national health systems (SSN) and they turn out to be influenced by the process itself, where the literature shows itself in favor of the use of technologies in health, improving their effectiveness and efficiency. These include eHealth, Telemedicine, Electronic Health File, Big Data, Virtual Reality, Augmented Reality, ePrescription. The technologies allow, even remotely, to have an always active and direct contact, between the various professionals, and between professionals and users, and are also useful for the training of both healthcare professionals and users themselves. The use of technology in the healthcare sector should therefore be encouraged as it allows direct contacts between users and healthcare personnel, speed and correlation of data analysis, tracking, time and cost savings, reduction of errors and a positive environmental impact with a reduction in the use of printed paper. For all the points listed, the technological revolution in hospital and territorial care can no longer be postponed.

Keywords: Augmented Reality, Big Data, Digital Health, HTA, Mobile technology, Virtual Reality

Introduzione

L'introduzione della moderna Information and Communication Technology (ICT) è stata una delle più notevoli innovazioni degli ultimi decenni. L'ICT porta con sé un notevole background tecnologico che veicola ogni tipo di informazione e di contenuti multimediali attraverso la versatilità e il costante update di smartphone, computer e tablet collegati a una diffusa connettività Internet (4G, 5G), con un significativo cambiamento nell'interazione uomo-tecnologia e implicazioni notevoli dei progressi nella digitalizzazione nel settore sanitario (1,2).

Infatti, sia i sanitari che i cittadini richiedono che i Sistemi Sanitari Nazionali (SSN) siano sempre più influenzati dal processo di digitalizzazione, attraverso una progressiva integrazione nella pratica quotidiana ad ogni livello dei sistemi tecnologici più avanzati e il potenziamento nella quantità e nella velocità dello scambio delle informazioni (3,4).

A livello scientifico, la letteratura mostra un importante corpo di evidenze a favore dell'utilizzo delle tecnologie in sanità, soprattutto allo scopo di migliorare l'efficacia e l'efficienza dei SSN (5). Appare utile introdurre la definizione dei termini tecnici fondamentali utilizzati nel processo di digitalizzazione in sanità, come mostrato nella Tabella I.

Un esempio nel campo della nefrologia è rappresentato dalle modalità di tele-nephrology, le quali sono state adottate in tutto il mondo per migliorare l'accesso alle cure, come la Clinical Video Telehealth (CVT), la Office-based e la Home-based. Queste modalità permettono di creare un'interfaccia digitale tra paziente e sanitari, utilizzando una connessione internet ad alta velocità allo scopo di produrre consulenze nefrologiche. La prestazione nefrologica può essere eseguita in varie modalità: 1) da remoto, senza una richiesta di una valutazione personale del paziente, ma solo attraverso la consultazione della cartella clinica; 2) da remoto, attraverso l'invio

Received: February 5, 2021

Accepted: March 18, 2021

Published online: April 14, 2021

Indirizzo per la corrispondenza:

Dottor Francesco Burrai
Complesso Sanitario San Camillo
Strada Statale 200
07100 Sassari - Italy
francesco.burrai@atsardegna.it



TABELLA I - Definizioni in sanità digitale

eHealth, electronic Health	Termine di valore generale, che indica il processo di digitalizzazione in sanità e le applicazioni di ICT ad essa associate
ICT	Tutte le tecnologie utilizzate per la comunicazione, la memorizzazione, il processamento e la valutazione dei dati
Telemedicina/ Telehealth	Utilizzo dell'ICT per permettere lo svolgimento di prestazioni sanitarie anche in presenza di una distanza fisica tra i servizi sanitari e l'utenza
mHealth, mobile Health	Applicazioni sanitarie accessibili attraverso una tecnologia mobile (per esempio, tablet, smartphone, orologi digitali)
Electronic patient file, Electronic health record	File contenente tutti i dati sanitari del paziente a cui possono accedere diverse figure autorizzate indipendentemente da una distanza fisica
Health app, Medical app	Software, programmi, applicazioni per mobile device utilizzati a scopi sanitari

di una risposta clinico-assistenziale in seguito a un quesito preciso al paziente; 3) rete di accesso alle cure specialistiche, che permette l'estensione dell'assistenza sanitaria a livello di comunità; 4) piattaforma di videoconferenza tra sanitari, che permette di collegare in tempo reale nefrologi che sono localizzati in centri sanitari geograficamente lontani; 5) e-Kidney, che permette una formazione clinica in nefrologia basata sul web, con una suddivisione degli insegnamenti in vari moduli e utilizzando svariati strumenti di veicoli delle informazioni, da quelle scritte a quelle grafiche con integrazioni audio-video di tipo narrativo; 6) Kidney Mobile/Smartphone, che utilizza la tecnologia mobile da parte dei pazienti per scopi di informazione e formazione, per controllare i propri dati sanitari e clinici, per il controllo delle prescrizioni di farmaci e per promemoria clinici. Tutte queste informazioni possono essere visualizzate con un output anche grafico e con un supporto da parte dei sanitari per la gestione della condizione clinico-assistenziale insieme al paziente.

ePrescription

Un altro aspetto importante della sanità digitale è la ePrescription. La ePrescription rappresenta la digitalizzazione della ricetta cartacea, trasformata in un file, vale a dire la ricetta medica elettronica che è disciplinata dal Decreto 02 novembre 2011 (6). Lo scopo principale della ePrescription è quello di permettere l'accesso alle prestazioni farmaceutiche e ambulatoriali del SSN da parte dei cittadini e di assicurare la circolarità delle prescrizioni farmaceutiche in regime convenzionale sull'intero territorio nazionale. Questo significa che un cittadino può recarsi in una farmacia di un'altra regione e avere diritto all'erogazione dei farmaci. La digitalizzazione delle prestazioni erogabili dal SSN consente anche di attivare

strumenti di controllo, in termini sia di verifiche preventive all'erogazione che di rendicontazione da parte degli stessi erogatori. All'anno 2018, risulta un livello di copertura delle prescrizioni elettroniche rispetto al totale delle prescrizioni farmaceutiche molto elevato, attestato intorno all' 85-90%. Inferiore risulta il livello di copertura per le prescrizioni ambulatoriali. Purtroppo, ancora oggi non tutte le prescrizioni sono in formato elettronico, dunque ci sono ricette cartacee che consentono l'accesso alle prestazioni del SSN. Da tempo è attivo un gruppo di lavoro presso il Ministero dell'Economia e delle Finanze e al Ministero della Salute, che lavorano per estendere le prescrizioni che sono ancora in modalità cartacea su ricetta elettronica. Le prescrizioni oggetto di digitalizzazione sono: piani terapeutici, farmaci in distribuzione diretta, prestazioni termali, prescrizioni per l'assistenza integrativa e l'assistenza protesica.

Big Data

Il Big Data è definito attraverso tre V: 1) Velocità, in termini di una notevole e innovativa velocità di acquisizione, processamento e manipolazione dei dati (fast data); 2) Volume, in termini di notevole volume di informazioni accessibili; 3) Varietà, in termini di differenti sorgenti e canali che possono produrre e rilasciare un Big Data (7,8).

Ci sono varie tipologie di Big Data in riferimento alla tipologia di sorgente: a) Big Data molecolari, che sono ottenuti attraverso processi complessi come la genomica, specialità post genomiche, proteomica, trascrittomica; b) Big Data con funzioni di radiomica, ovvero di analisi di immagini mediche attraverso metodi matematici e computazionali per ottenere nuove informazioni cliniche non rilevabili tramite la loro semplice osservazione visiva; c) Big Data basati su sensori indossabili dai pazienti; d) Big Data digitali e computazionali con input di informazioni massicce da fonti interne, smartphone, tablet, PC e altri mobile device (9-12).

Un aspetto molto importante è l'analisi sistematica dei dati presenti nei Big Data da parte dei ricercatori, per evidenziare eventuali modelli predittivi, tendenze significative, modelli di regressione lineare e correlazioni e associazioni tra variabili cliniche e tra variabili socio-demografiche per produrre informazioni evidence based utili nella pratica clinica. Queste informazioni presenti nei Big Data possono provenire da studi di coorte, trial, database di cartelle cliniche, database di cartelle amministrative, database di cartelle elettroniche, database di risultati riportati dai pazienti, database di imaging e set di dati omici, come, per esempio, genomica, trascrittomica, proteomica, metabolomica e omici ambientali (13). Tuttavia, a causa dell'elevata complessità dei Big Data e del lungo elenco di fattori confondenti, interpretare questi dati non è banale e richiede approcci in grado di scoprire modelli nascosti in questi set di dati ampi e complessi (14).

Un esempio applicativo contemporaneo della potenza di analisi dei dati da Big Data può essere quello della pandemia

COVID-19. Dall'inizio della pandemia, i Big Data consentono il monitoraggio dell'epidemia in tempo reale, con un set di dati in update costante e sincrono, interfacciando input di informazioni da ogni parte del mondo e suddividendo i dati per nazioni, regioni e città e, soprattutto, in relazione con le informazioni fondamentali sugli spostamenti delle persone. Questi set di dati permettono la creazione di modelli matematici predittivi e di applicazioni di intelligenza artificiale.

Un altro aspetto particolare al quale le autorità sanitarie pubbliche dovrebbero prestare attenzione è un'altra V, oltre alle tre V che definiscono i Big Data: V della Veridicità, ovvero l'accuratezza e l'affidabilità dei dati raccolti. L'elaborazione e la modellazione dei Big Data dovrebbero computare l'incertezza dei dati, garantendo la validità dei risultati. A oggi, questa è ancora una sfida aperta. I Big Data utilizzano una tecnologia definita block-chain, il quale è un sistema decentralizzato unico focalizzato sull'esecuzione di una serie di transizioni di flussi informativi, caratterizzato da una fase continua di registrazione, verifica e validazione dei dati. Tale work-flow permette un elevato livello di sicurezza, che, applicato a livello sanitario, consente l'erogazione con sicurezza e validità di dati e servizi sanitari incentrati sul paziente, una migliore sorveglianza della salute pubblica e un processo decisionale rapido ed efficace (15-17).

I Big Data permettono anche di implementare un'azione sanitaria oggi ritenuta strategica per la salute delle persone: la medicina di precisione. La medicina di precisione ha un notevole impatto sulla storia sanitaria dei cittadini perché permette la programmazione di una terapia mirata per ogni soggetto, dunque maggiormente appropriata, efficace ed efficiente, e riducendo al minimo il rischio, per esempio, di eventi avversi o indesiderati.

Questa medicina di precisione, personalizzata, può essere permessa dai Big Data per ogni singola persona, attraverso processi di correlazione tra tipologia di malattia, comorbilità, progressione della malattia, risposta ai trattamenti sanitari, dati socio-demografici, dati clinici e profilazione molecolare (18,19).

Mobile Health

Mobile Health (mHealth) si riferisce all'uso di dispositivi di comunicazione mobile nell'assistenza sanitaria. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) definisce la mHealth come l'uso di un telefono cellulare con i suoi servizi di comunicazione vocale, messaggistica, funzionalità e applicazioni più complesse, tra cui il servizio radio, software, telecomunicazioni mobili di terza e quarta generazione (sistemi 3G e 4G), sistema di posizionamento globale (GPS) e tecnologia Bluetooth (20).

La mHealth si inserisce perfettamente nel processo di dematerializzazione dei supporti cartacei in sanità. La mHealth, riducendo le risorse cartacee, semplifica i processi nei flussi delle informazioni, riduce gli errori umani di trascrizione, registrazione e conservazione dei dati e permette in

tempo reale di effettuare update garantendo accuratezza, precisione e completezza dei dati (21).

Le applicazioni per la mHealth sono nate soprattutto come strumenti utili per il self-care e per l'autogestione della salute che eliminano gli ostacoli fisici, locali e spazio-temporali per l'accesso alle informazioni sanitarie. Nel tempo, hanno presentato uno sviluppo verso dispositivi digitali con maggiore personalizzazione, grazie a una migliore precisione nell'assistenza mirata capace di rispondere ai bisogni specifici di ogni singolo paziente (22).

La mHealth rappresenta uno strumento importante per fornire un'assistenza sanitaria anche alla popolazione in aree remote, rurali o con accesso limitato alle infrastrutture sanitarie (23).

In pochi anni, si è evidenziato un trend esponenziale della disponibilità di dati provenienti dai sistemi di mHealth. Tale fenomeno globale è dovuto a una produzione costante e sempre in aumento di app mobili sviluppate per i settori legati alla sanità (24).

Queste app consentono soprattutto di supportare efficacemente la prevenzione e la gestione delle malattie. Per la prima volta, da remoto è possibile monitorare le condizioni di salute dei pazienti e, in particolare, i cambiamenti degli stati di salute, i fattori di rischio, i comportamenti quotidiani e l'aderenza ai farmaci. Il flusso di informazioni gestite dalle app sanitarie avviene generalmente acquisendo dati del soggetto tramite questionari interattivi compilati dai pazienti.

Nel settore della dialisi, la mHealth è stata utilizzata, per esempio, per assistere i pazienti nel monitoraggio della dieta attraverso app specifiche utili per il conteggio dei fosfati o nell'aderenza alle tipologie di dieta prescritte (25,26), nel trattamento e nel monitoraggio dei sintomi (27) e nella gestione dello stile di vita, dell'attività fisica e della qualità del sonno (28,29).

Un aspetto importante è l'utilizzo dei mobile device da parte dei pazienti. Due studi statunitensi sulla dialisi peritoneale hanno rilevato che la maggior parte delle persone in dialisi peritoneale ha riferito di possedere un telefono cellulare (83-94%) e che aveva accesso a Internet (90%) ed era disposta a utilizzare la telemedicina (73-83%) (30,31).

Un altro studio nel settore dell'emodialisi mostrava che i pazienti giovani possedevano uno smartphone ed erano interessati all'utilizzo delle app della mHealth (32).

Durante la pandemia da COVID-19, le applicazioni mobili o mApp, attraverso connessioni internet e bluetooth, sono state utilizzate principalmente per: 1) il tracciamento dei contatti; 2) il tracciamento delle persone; 3) la notifica alle autorità. Alcuni degli esempi importanti di app usate a livello mondiale sono TraceTogether (Singapore), CovidWatch (USA), PeduliLindungi (Indonesia), Kwarantana Dommowa (Polonia), HaMagen (Israele) e Immuni in Italia (33).

Queste app, legate alla gestione della pandemia da COVID-19, possono calcolare in tempo reale, utilizzando bluetooth, algoritmi e l'intelligenza artificiale, il rischio di

infezione su ogni contatto in base a parametri sofisticati. Una tecnologia sofisticata per contrastare la diffusione del COVID-19 è la chat-robot (chatbot), un'applicazione software alimentata da processi di intelligenza artificiale che può effettuare conversazioni virtuali, ovvero non con un essere umano, sotto forma di chat online tramite testo o testo-parlato. Alcune delle chatbot importanti a livello mondiale sono prodotte da Centers for Disease Control and Prevention (34), World Health Organization (35), Google Cloud (36) e Rapid Response Virtual Agent International Business Machines Corporation (37).

Un'altra caratteristica tecnologica che è stata utile nel contrasto alla pandemia da COVID-19 è la potenza di calcolo delle unità di elaborazione grafica (GPU), le quali hanno una capacità di accelerazione delle funzioni di rendering delle attività grafiche e video. Queste GPU collegate alle unità di elaborazione centrale (CPU) di un computer hanno permesso la ricostruzione tridimensionale (3D) di proteine del virus con confronti multipli con altre proteine virali, con lo scopo di ricostruire l'intera sequenza proteica del virus (38).

Un fenomeno sociale legato alla pandemia da COVID-19 è il suicidio. La mobile Health presenta app programmate da un team multidisciplinare e multiprofessionale con lo scopo di prevenire il suicidio. Questa app ha la caratteristica di supportare l'interazione paziente-professionista utilizzando le migliori pratiche basate su dati validi (39).

L'aumento dell'uso di app sanitarie mobili implica un numero maggiore di valutazioni dell'usabilità, per garantire che gli utenti possano usarle nel modo appropriato. L'usabilità è una caratteristica essenziale per l'esperienza degli utenti nell'utilizzo delle app. Esistono molte definizioni di usabilità, ma una delle più comuni è quella che la definisce come "la misura in cui un prodotto può essere utilizzato da utenti specifici per raggiungere obiettivi specifici con efficacia, efficienza e soddisfazione in uno specifico contesto di utilizzo" (40).

Questo significa che le app devono rispondere allo scopo e che l'utente specifico deve anche essere in grado di utilizzare le app in modo mirato e adatto alle circostanze specifiche. Le valutazioni dell'usabilità sono significative per determinare la soddisfazione, le aspettative e le esigenze degli utenti e per proteggere i dati dei pazienti e la qualità dell'assistenza (41).

Le valutazioni di usabilità nel settore delle app sanitarie contribuiscono non solo a potenziare le informazioni legate all'efficacia, all'efficienza e alla soddisfazione del paziente, ma anche e soprattutto al miglioramento degli outcome di salute (42).

I sistemi principali che valutano l'usabilità delle app in sanità sono: 1) Multiple Usability Evaluation Methods, come System Usability Scale (43); 2) Telehealth Usability Questionnaire (44); 3) Questionnaire for User Interaction Satisfaction (45); 4) Computer System Usability Questionnaire (46); 5) MARS questionnaire (47).

Telemedicina

Un importante esempio internazionale di telemedicina in campo nefrologico in uso con efficacia da diversi anni su un'ampia fetta di popolazione è quella erogata dalla Veteran's Health Administration (VHA). La VHA ha strutturato un programma denominato VHA Kidney Program, un servizio di cure specialistiche che include l'assistenza e il trattamento di pazienti con malattia renale acuta o cronica. La mission del VHA Kidney Program è di migliorare la qualità dei servizi sanitari forniti ai veterani con malattie renali a livello nazionale degli Stati Uniti. Il programma fornisce servizi relativi alla patologia renale ai centri di dialisi in tutti i centri medici della VHA, dedicati a promuovere la comprensione della malattia renale da parte dei pazienti e del suo impatto sui veterani e lo sviluppo di trattamenti per aiutare i pazienti a gestire i sintomi della cronicità. Inoltre, il VHA Kidney Program fornisce agli operatori sanitari affiliati assistenza clinica, istruzione, ricerca e risorse informatiche per migliorare l'assistenza sanitaria presso le strutture di dialisi delle VHA locali. Il sito web fornisce una sezione definita eKidney Clinic (48), dove sono presenti informazioni utili di carattere generale e di formazione, anche in formato video, che sono di interesse per gli utenti che devono gestire la malattia renale cronica. Il programma prevede anche la possibilità di utilizzo di un'app mobile dalla quale è possibile usufruire dei servizi di informazione offerti.

Il tutto si connette alla telemedicina con processi di informazione e gestione anche a distanza dei pazienti con malattia renale cronica. In un importante studio, sono stati analizzati i dati provenienti dai programmi di tutoraggio strutturati in telemedicina specialistica, i quali mostrano un miglioramento nella gestione delle skill professionali, nella soddisfazione professionale e nella comunicazione specialistica (49). Nel medesimo lavoro, gli autori hanno valutato se esisteva una correlazione tra la durata nella partecipazione a un programma di mentoring longitudinale basato sulla telemedicina e gli effetti positivi, in particolare per quanto riguarda l'accesso percepito alle cure specialistiche, l'acquisizione di nuove conoscenze e abilità, l'integrazione del team e la soddisfazione generale sul lavoro. I risultati hanno mostrato che i sanitari impegnati nella telemedicina per un periodo superiore a 1 anno erano significativamente più propensi a concordare fortemente sul fatto che il tutoraggio tramite la telemedicina ha migliorato l'accesso dei pazienti alle cure specialistiche ed è stato utile nel trattamento dei pazienti (49).

In un altro articolo (50) è stato studiato l'impatto di un programma nazionale per i trapianti del Dipartimento per gli affari dei veterani (VA) degli Stati Uniti in riferimento al miglioramento dell'accesso al trapianto introducendo strumenti web e la telemedicina. Nello specifico, lo studio voleva valutare l'efficacia della nuova tecnologia sulla tempestività della valutazione del trapianto di rene presso un centro medico



affidente alla VHA, esaminando 835 pazienti che erano stati arruolati per la valutazione. I risultati hanno mostrato che il tempo medio riferito alla fase di valutazione e la percentuale dei pazienti con appuntamenti entro 30 giorni erano decisamente più bassi in maniera statisticamente significativa ($p < 0,001$), dimostrando un buon livello di efficacia della telemedicina nell'abbattimento dei tempi della lista d'attesa dei trapianti di rene.

In una recente revisione (51) sono state esaminate diverse modalità di tele-nephrology per fornire assistenza nefrologica comparando il modello australiano e quello americano, Paesi geograficamente molto estesi e con una presenza significativa di popolazioni rurali, dove l'accesso all'assistenza nefrologica potrebbe essere limitato. La videoconferenza è ampiamente utilizzata in Australia per la gestione delle malattie renali, compresa la malattia renale cronica, la dialisi, la nefrologia pediatrica e l'assistenza post-trapianto di rene, mentre l'esperienza della tele-nephrology degli Stati Uniti è limitata e il sistema più avanzato è proprio quello della VHA, che è un sistema a pagamento, che fornisce assistenza e cura a quasi 9 milioni di veterani, di cui 3 milioni risiedono in comunità rurali. I dati della VHA mostrano che l'assistenza nefrologica fornita a distanza tramite videoconferenza presenta risultati che sono almeno equivalenti all'assistenza erogata in presenza, ma con un miglioramento dell'aderenza del paziente agli appuntamenti programmati, con circa il 55% in meno di appuntamenti cancellati o di mancanza del paziente all'appuntamento. Il sistema tele-nephrology è crittografato e rispetta il regolamento privacy degli utenti.

Ishani et al. (52) hanno studiato, attraverso un gruppo sperimentale e uno di controllo, se l'utilizzo della tele-nephrology della VHA per una durata di 1 anno, per la gestione dei casi a domicilio, potesse migliorare i risultati clinici nei pazienti con CKD rispetto alle cure convenzionali in presenza. Il gruppo di tele-nephrology è stato addestrato all'uso del monitor bidirezionale e delle apparecchiature sanitarie periferiche, come un bracciale per la rilevazione della pressione arteriosa. Il team multidisciplinare era composto da un nefrologo, uno psicologo, un dietista, un tecnico di telemedicina e un assistente sociale. Il gruppo di controllo riceveva le normali cure standard. I risultati hanno mostrato che non vi erano differenze tra i gruppi negli endpoint primari, come mortalità, numero di ricoveri, numero di visite al Pronto Soccorso o visite infermieristiche.

Tuttavia, nei pazienti situati in zone rurali, i risultati hanno mostrato una tendenza migliore nel gruppo tele-nephrology rispetto al gruppo di controllo. Gli autori dello studio concludono che il programma eHealth di cure nefrologiche della VHA è riuscito a supportare meglio i pazienti a maggior dispersione geografica della popolazione. Il sistema VHA che segue quasi 9 milioni di persone in maniera uniforme è ritenuto dagli autori l'ambiente ideale nel quale eseguire futuri studi prospettici sull'efficacia e sul rapporto costo-efficacia della tele-nephrology.

Virtual Reality

La realtà virtuale (VR) è un potente strumento digitale che consente agli individui di fare esperienza di scenari terapeuticamente efficaci che sono impossibili da ricreare nella vita reale (53). La VR consente un input terapeutico che non è vincolato a un particolare tempo di somministrazione, che può essere utilizzato più volte e che è immediatamente disponibile. Con la VR, per esempio, le persone possono entrare in simulazioni di situazioni difficili ed essere istruite con risposte appropriate, le quali si basano sulle migliori evidenze scientifiche. Le simulazioni con la VR possono prevedere diversi livelli di esperienza e di apprendimento, con compiti di apprendimento sempre superiori, fino a ottenere il target di apprendimento voluto. È importante evidenziare che i pazienti affronteranno molto più facilmente situazioni difficili in ambiente protetto in VR e che avranno a disposizione diverse e nuove strategie terapeutiche da sperimentare. I risultati mostrano una soddisfazione da parte dei pazienti rispetto alla terapia basata sulla VR e potrebbero trovarla più accettabile dell'approccio tradizionale (54). Al momento, ci sono molti modi diversi per creare un mondo completamente o parzialmente virtuale. A seconda di quali oggetti reali e virtuali sono presentati nell'immagine, ci sono quattro categorie di base: (1) Reality, i dati generati sono quelli del mondo reale; (2) Augmented Reality, in cui i dati generati dal computer vengono inglobati in un'immagine del mondo reale; (3) Augmented Virtuality, dove i dati della vita reale vengono inglobati in un mondo generato dal computer; (4) Virtual Reality, in cui il mondo è stato creato interamente da un computer.

Il sistema tecnologico di VR può creare: a) effetti di distrazione virtuale; b) simulatori di realtà virtuale; c) rappresentazioni virtuali di qualsiasi parte del corpo; d) camminata virtuale; e) illusione virtuale e ipnosi; f) VR immersiva; g) tracciamento delle mani, tracciamento del movimento 3D, sistema di rilevamento del movimento; h) rappresentazione audio stereo, effetti sonori.

Negli ultimi anni, l'avanzamento rapido e diffuso della VR ha prodotto soprattutto contenuti di tipo immersivo, sviluppati inizialmente nel campo dell'intrattenimento, e ha, nel tempo, suscitato grande interesse per le sue possibili applicazioni nella formazione medica e chirurgica. La tecnologia utilizzata prevede un visore con display HD e dispositivi tattili, in modo che l'utente possa interagire con gli oggetti virtuali dell'ambiente creato in simulazione (55). Sono disponibili simulatori eterogenei, tra cui sistemi che creano modelli anatomici virtuali tridimensionali, i quali sono ricostruiti a partire dall'imaging radiologico della parte anatomica del paziente, consentendo operazioni di ingrandimento tramite zoom, visualizzazione panoramica e rotazione a 360 gradi.

Esistono software di simulazione anche di strumenti diagnostici, ricreando simulazioni di tecniche endoscopiche o laparoscopiche. Tramite questi strumenti, l'utente può simulare l'esecuzione di taglio del modello durante l'esame

endoscopico virtuale, arrivando a completare intere procedure, come colecistectomia virtuale o appendicectomia, o a replicare e simulare un'intera seduta di sala operatoria virtuale, completamente attrezzata e con tanto di presenza di personale sanitario e attrezzature, e questo grazie a una precedente acquisizione di sequenze video della vera sala operatoria con telecamere idonee per registrazioni video a 360 gradi (56).

L'inserimento di insegnamenti basati sulla VR nel percorso universitario in campo sanitario è ancora oggetto di dibattito, sebbene le prove in letteratura suggeriscano che tale metodologia virtuale potrebbe migliorare l'acquisizione di conoscenze e abilità in anatomia, integrata con i metodi di insegnamento in presenza. Infatti, l'utilizzo della VR consente di visualizzare meglio i rapporti tra gli organi e incrementa la concentrazione e il coinvolgimento dell'utente, con un processo di apprendimento più duraturo. Oltretutto, dato che i modelli virtuali provengono da fonti di imaging radiologico del paziente, è più efficace intercettare eventuali specifiche anatomiche del paziente, cosa che rappresenta un aspetto di fondamentale importanza per i chirurghi in formazione (57).

Per massimizzare i benefici dell'apprendimento tramite la VR, i controller tattili permettono di percepire fisicamente gli oggetti virtuali, creando, così, un ambiente multisensoriale più realistico e permettendo un addestramento nettamente più efficace verso procedure chirurgiche specifiche, riducendo il tempo di apprendimento, evitando rischi inutili per l'operatore e per il paziente e riducendo al minimo anche l'utilizzo di animali nel percorso di formazione sanitaria, pensiamo all'anatomo-patologia.

L'utilizzo di modelli di VR con tecnologia sempre più avanzata consente di identificare in maniera sempre più precisa sia le caratteristiche principali delle strutture anatomiche di interesse sia la simulazione virtuale dell'ambiente chirurgico, riducendo anche un possibile contenzioso medico-legale (58).

In un recente studio sulla rimozione chirurgica dei calcoli renali, è stato dimostrato che l'utilizzo della VR ha indotto i chirurghi a modificare il loro approccio nel 40% dei casi, risultato dovuto al fatto che la VR aveva prodotto una migliore comprensione da parte dei chirurghi del calice renale e migliorato l'individuazione del punto di ingresso della strumentazione chirurgica, nonché della dimensione, dell'orientamento e della posizione del calcolo renale (59). Dal un punto di vista dei pazienti, l'utilizzo della VR aveva migliorato la comprensione della loro malattia renale, con conseguente riduzione di ansia peri-operatoria. Nello stesso studio, il gruppo sperimentale con VR mostrava una diminuzione statisticamente significativa del tempo di utilizzo della fluoroscopia e di perdite ematiche e una tendenza verso una minore percentuale di ripresentazione della patologia di calcolosi renale. La rappresentazione 3D in VR dell'anatomia del paziente, unita alla possibilità di esplorare l'area chirurgica da più punti di vista, risulta essere più intuitiva e meno impegnativa per il chirurgo,

rispetto alla visione 2D fornita mediante imaging tradizionale in sezione trasversale, come la tomografia assiale computerizzata o la risonanza magnetica.

Dell'importanza della formazione tramite VR si parla anche nel campo della neurochirurgia, dove gli interventi spesso sono molto complessi, per l'interessamento di parti anatomiche difficili da raggiungere o in prossimità di aree che, se dovessero venire danneggiate, porterebbero a complicazioni serie (60). La VR è stata utilizzata in procedure come rimozione di tumori, clipping dell'aneurisma arterovenoso, resezioni di malformazioni di nervi cranici e impianti per il trattamento dell'epilessia. Per la chirurgia spinale, la VR è stata definita come un importante metodo di formazione, soprattutto per l'orientamento visuale e spaziale nei casi di interventi che prevedono una chirurgia che prevede un grande rischio per il paziente. In questo campo chirurgico, l'utilizzo della VR ha prodotto una migliore efficacia nell'inserimento di viti, nella vertebroplastica e nella laminectomia cervicale posteriore (61).

L'uso di simulazioni in VR intra-operatorie viene indicato come una necessità crescente nella chirurgia cranica, con tecniche che potrebbero richiedere modifiche in tempo reale nel corso dell'intervento chirurgico (62).

Esiste una piattaforma di simulazione open source chiamata Intraoperative Brain Imaging System (IBIS), che è in grado di identificare discrepanze tra l'imaging pre-operatorio e il seguente intra-operatorio, consentendo di aggiornare le imprecisioni utilizzando la realtà aumentata (RA), che permette al modello intra-operatorio di aggiornarsi in tempo reale con estrema precisione (63). Alcuni autori hanno creato un ambiente di VR di una sala operatoria in cui gli studenti di medicina possono osservare il team multidisciplinare durante l'esecuzione di un trapianto renale. Grazie alla connessione tra la visuale offerta dalla headcam utilizzata dai chirurghi durante il trapianto e i visori della VR degli studenti, questi ultimi riuscivano a ottenere una visione dettagliata delle procedure chirurgiche, con possibilità di porre domande sulla procedura del trapianto in tempo reale (64).

In una revisione che ha analizzato 44 studi sull'uso di modelli di rene e prostata stampati in 3D, sulla RA o sulla VR nelle cure e nella formazione dei medici, gli autori concludono che tutti questi tipi di visualizzazione possono avere un impatto positivo sulla cura del paziente e sulla formazione del tirocinante, per quanto concerne il trattamento del tumore della prostata e del rene. Per il cancro del rene, i modelli di tumore renale 3D aiutano a promuovere la chirurgia che risparmia il nefrone e la conservazione della salute parenchimale, in quanto i chirurghi acquisiscono una migliore comprensione della dimensione e della posizione del tumore in relazione al tessuto normale e alle strutture chirurgiche come le arterie, le vene e il sistema linfatico. Allo stesso modo, per il cancro alla prostata, i modelli 3D del cancro alla prostata facilitano la pianificazione per il risparmio di asportazione o danneggiamento dei nervi in caso di prostatectomia o di

terapia ablativa focale, consentendo ai chirurghi una valutazione migliore (65).

Anche la Sony ha lanciato un programma di formazione dei medici con VR, attivando una collaborazione con l'Hospital Clinic Barcelona, grazie alla loro tecnologia chiamata NUCLeUS™ (66). Grazie all'utilizzo di questo programma, si riesce a garantire una visione coinvolgente e interattiva di qualsiasi intervento chirurgico, anche senza essere presenti in sala operatoria. È possibile esplorare i parametri vitali del paziente e le informazioni del team chirurgico con la sensazione di trovarsi fisicamente sul posto. Questa tecnologia riduce i rischi di infezioni dovuti alla presenza di molti studenti in sala operatoria, evita la distrazione del team chirurgico nel caso di presenza di molti studenti nel corso dell'intervento e permette a molti studenti di seguire l'intervento e di avere una visione precisa di ogni fase dell'intervento.

L'utilizzo della VR in ambito formativo chirurgico ha la mission di produrre un tipo di formazione clinica maggiormente impattante per gli studenti e più sicura per i pazienti e gli operatori. La creazione dell'ambiente virtuale avviene tramite la cattura, ad opera di una o più telecamere, ad ampio raggio, di tutta la sala operatoria. La prospettiva garantita è di tipo ultra-grandangolare a 180 gradi, in modo tale da creare una panoramica inclusiva di tutto ciò che avviene nella sala operatoria. Inoltre, la presenza di altre telecamere posizionate nella camera operatoria stessa permette al sistema di fornire altre informazioni essenziali, come l'imaging chirurgico, i dati e i parametri del paziente. La realtà ricreata è, ora, totalmente immersiva, includendo anche input di tipo sonoro, con la possibilità di ascoltare commenti e indicazioni del team chirurgico e i reali suoni delle strumentazioni utilizzate nel corso dell'intervento.

La VR e la RA sono utili anche nella formazione del personale di soccorso. La capacità tecnica e operativa professionale e di risposta alle emergenze dei professionisti determina la percentuale di successo dei soccorsi (67). Con i metodi classici di addestramento, si affronta una serie di problematiche, come la difficoltà nella ricreazione degli scenari, la carenza di attrezzature e operazioni di Pronto Soccorso non sempre sufficienti. Invece, tramite la creazione di scenari virtuali e di modelli 3D combinati con feedback visivi (68), gli operatori di soccorso possono interagire con un coinvolgimento multisensoriale. Gli operatori di soccorso possono simulare realisticamente il funzionamento di base del sistema di soccorso, cosa che migliora l'autenticità e l'operabilità dell'azione, riproducendo tutte le fasi dell'operazione, permettendo, così, una formazione intensiva e immersiva e un miglioramento delle abilità nel minor tempo possibile.

In un altro studio (69), gli autori hanno confrontato i partecipanti che hanno utilizzato la formazione in VR con partecipanti che avevano ricevuto una formazione video, con risultati che mostravano performance migliori per il gruppo formato in VR sul campo dell'emergenza. Si ritiene che, nel prossimo futuro, la formazione tramite VR avrà un ruolo

importante nel processo di formazione anche nell'ambito del soccorso (70).

Conclusioni

La governance dei processi assistenziali in una sanità moderna impone la conoscenza delle ultime tecnologie utilizzate in campo sanitario. Oggi, il sistema sanitario, se vuole raggiungere un obiettivo di appropriatezza, efficacia ed efficienza in sinergia con la personalizzazione, la medicina di precisione e l'umanizzazione delle cure, deve essere in grado di agevolare l'implementazione delle più avanzate tecnologie, che permettono letteralmente una rivoluzione dell'assistenza. Per esempio, poter vedere i pazienti durante il loro ricovero, in quelle interminabili ore ospedaliere distesi su un letto, immersi in una realtà virtuale a loro gradita, andando in luoghi lontani da quel luogo di sofferenza in cui sono, potrebbe essere una non utopia, ma una realtà oggi possibile, ma che ha bisogno di una cultura nuova da parte dei sanitari e della governance, verso quell'innovazione necessaria ed eticamente e scientificamente non più rinviabile.

Disclosures

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.
Financial support: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Bibliografia

1. Marcolino MS, Oliveira JAQ, D'Agostino M, Ribeiro AL, Alkmim MBM, Novillo-Ortiz D. The Impact of mHealth Interventions: Systematic Review of Systematic Reviews. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018;6(1):e23. [CrossRef PubMed](#)
2. Gordon WJ, Landman A, Zhang H, Bates DW. Beyond validation: getting health apps into clinical practice. *NPJ Digit Med*. 2020;3(1):14. [CrossRef PubMed](#)
3. Davis J, Morgans A, Stewart J. Developing an Australian health and aged care research agenda: a systematic review of evidence at the subacute interface. *Aust Health Rev*. 2016;40(4):420-427. [CrossRef PubMed](#)
4. Huxley CJ, Atherton H, Watkins JA, Griffiths F. Digital communication between clinician and patient and the impact on marginalised groups: a realist review in general practice. *Br J Gen Pract*. 2015;65(641):e813-e821. [CrossRef PubMed](#)
5. Partel K. Toward better implementation: Australia's My Health Record. 2015. Available at [Online](#) (accessed february 02, 2021).
6. Decreto 02 novembre 2011. [Online](#) (accessed february 02, 2021).
7. Bragazzi NL, Damiani G, Martini M. From Rheumatology 1.0 to Rheumatology 4.0 and beyond: the contributions of Big Data to the field of rheumatology. *Mediterr J Rheumatol*. 2019;30(1):3-6. [CrossRef PubMed](#)
8. Dini G, Bragazzi NL, Montecucco A, Toletone A, Debarbieri N, Durando P. Big Data in occupational medicine: the convergence of -omics sciences, participatory research and e-health. *Med Lav*. 2019;110(2):102-114. [PubMed](#)
9. Bragazzi NL, Guglielmi O, Garbarino S. SleepOMICS: How Big Data Can Revolutionize Sleep Science. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(2):291. [CrossRef PubMed](#)



10. Gianfredi V, Bragazzi NL, Nucci D, et al. Harnessing Big Data for Communicable Tropical and Sub-Tropical Disorders: Implications From a Systematic Review of the Literature. *Front Public Health*. 2018;6:90. [CrossRef PubMed](#)
11. Bragazzi NL, Gianfredi V, Villarini M, et al. Vaccines Meet Big Data: State-of-the-Art and Future Prospects. From the Classical 3Is (“Isolate-Inactivate-Inject”) Vaccinology 1.0 to Vaccinology 3.0, Vaccinomics, and Beyond: A Historical Overview. *Front Public Health*. 2018;6:62. [CrossRef PubMed](#)
12. Bragazzi NL, Dini G, Toletone A, Brigo F, Durando P. Leveraging Big Data for Exploring Occupational Diseases-Related Interest at the Level of Scientific Community, Media Coverage and Novel Data Streams: The Example of Silicosis as a Pilot Study. *PLoS One*. 2016;11(11):e0166051. [CrossRef PubMed](#)
13. Weersma RK, Xavier RJ, Vermeire S, et al; IBD Multi Omics Consortium. Multiomics analyses to deliver the most effective treatment to every patient with inflammatory bowel disease. *Gastroenterology*. 2018;155(5):e1-e4. [CrossRef PubMed](#)
14. Gligorijević V, Pržulj N. Methods for biological data integration: perspectives and challenges. *J R Soc Interface*. 2015;12(112):20150571. [CrossRef PubMed](#)
15. Mashamba-Thompson TP, Crayton ED. Blockchain and Artificial Intelligence Technology for Novel Coronavirus Disease-19 Self-Testing. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(4):198. [CrossRef PubMed](#)
16. Bhattacharya S, Singh A, Hossain MM. Strengthening public health surveillance through blockchain technology. *AIMS Public Health*. 2019;6(3):326-333. [CrossRef PubMed](#)
17. Chattu VK, Nanda A, Chattu SK, Kadri SM, Knight AW. The Emerging Role of Blockchain Technology Applications in Routine Disease Surveillance Systems to Strengthen Global Health Security. *Big Data Cogn Comput*. 2019;3(2):25. [CrossRef](#)
18. Korcsmaros T, Schneider MV, Superti-Furga G. Next generation of network medicine: interdisciplinary signaling approaches. *Integr Biol*. 2017;9(2):97-108. [CrossRef PubMed](#)
19. Sheehan D, Shanahan F. The gut microbiota in inflammatory bowel disease. *Gastroenterol Clin North Am*. 2017;46(1):143-154. [CrossRef PubMed](#)
20. Kay M, Santos J, Takane M. *Mhealth: New Horizons for Health Through Mobile Technologies*. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2011.
21. Marzano L, Bardill A, Fields B, et al. The application of mHealth to mental health: opportunities and challenges. *Lancet Psychiatry*. 2015;2(10):942-948. [CrossRef PubMed](#)
22. Fiordelli M, Diviani N, Schulz PJ. Mapping mHealth research: a decade of evolution. *J Med Internet Res*. 2013;15(5):e95. [CrossRef PubMed](#)
23. Cortez NG, Cohen IG, Kesselheim AS. FDA regulation of mobile health technologies. *N Engl J Med*. 2014;371(4):372-379. [CrossRef PubMed](#)
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(2):259-272. [CrossRef PubMed](#)
25. Imtiaz R, Atkinson K, Guerin J, Wilson K, Leidecker J, Zimmerman D. A pilot study of OkKidney, a phosphate counting application in patients on peritoneal dialysis. 2017;37:613-618. [CrossRef PubMed](#)
26. Stark S, Snetselaar L, Piraino B, et al. Personal digital assistant-based self-monitoring adherence rates in 2 dialysis dietary intervention pilot studies: BalanceWise-HD and BalanceWise-PD. *J Ren Nutr*. 2011;21(6):492-498. [CrossRef PubMed](#)
27. Kiberd J, Khan U, Stockman C, et al. Effectiveness of a web-based eHealth portal for delivery of care to home dialysis patients: A single-arm pilot study. 2018. [CrossRef](#)
28. Han M, Williams S, Mendoza M, et al. Quantifying physical activity levels and sleep in hemodialysis patients using a commercially available activity tracker. 2016;41:194-204. [CrossRef](#)
29. Sieverdes JC, Raynor PA, Armstrong T, Jenkins CH, Sox LR, Treiber FA. Attitudes and perceptions of patients on the kidney transplant waiting list toward mobile health-delivered physical activity programs. 2015;25:26-34. [CrossRef](#)
30. Lew SQ, Sikka N. Telehealth awareness in a US urban peritoneal dialysis clinic: From 2018 to 2019. *Perit Dial Int* 2020;40:227-229. [CrossRef PubMed](#)
31. Lew SQ, Sikka N. Are patients prepared to use telemedicine in home peritoneal dialysis programs? 2013;33:714-715. pmid:24335134. [CrossRef](#)
32. Burns T, Fernandez R, Stephens M. The experiences of adults who are on dialysis and waiting for a renal transplant from a deceased donor: a systematic review. *JBHI Database System Rev Implement Rep*. 2015;13(2):169-211. [CrossRef PubMed](#)
33. Chaturvedi A. Top 10 Popular Smartphone Apps to Track COVID-19; 2020. Available from: [Online](#) (last accessed may 01, 2020).
34. Centers for Disease Control and Prevention, Testing for COVID-19. 2020. Available from: [Online](#) (last accessed may 01, 2020).
35. World Health Organization. WHO Launches a Chatbot on Facebook Messenger to Combat COVID-19 misinformation; 2020. Available from: [Online](#) (accessed february 02, 2021).
36. Google Cloud, Rapid Response Virtual Agent. [Online](#) (accessed february 02, 2021)
37. International Business Machines Corporation, IBM Watson Assistant Deliver Fast, Accurate Answers around COVID-19 for your Customers, Employees and Citizens-on any Channel; 2020. Available from: [Online](#)
38. Fighting against COVID-19. [Online](#) (accessed february 02, 2021).
39. O’Grady C, Melia R, Bogue J, O’Sullivan M, Young K, Duggan J. A Mobile Health Approach for Improving Outcomes in Suicide Prevention (SafePlan). *J Med Internet Res* 2020;22(7):e17481. [CrossRef PubMed](#)
40. International Organization for Standardization. *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part 11 Guidance on usability*. Geneva: ISO; 1998.
41. Baysari MT, Westbrook JI. Mobile Applications for Patient-centered Care Coordination: A Review of Human Factors Methods Applied to their Design, Development, and Evaluation. *Yearb Med Inform*. 2015;10(1):47-54. [PubMed](#)
42. Wildenbos GA, Peute LW, Jaspers MW. Influence of human factor issues on patient-centered mHealth apps’ impact; Where do we stand. *Stud Health Technol Inform*. 2016;228:190-4. [CrossRef PubMed](#)
43. Bernier A, Fedele D, Guo Y, et al. New-Onset Diabetes Educator to Educate Children and Their Caregivers About Diabetes at the Time of Diagnosis: usability Study. *JMIR Diabetes*. 2018;3(2):e10. [CrossRef PubMed](#)
44. Janatkhah R, Tabari-Khomeiran R, Asadi-Louyeh A, Kazemnejad E. Usability of a Disease Management Mobile Application as Perceived by Patients With Diabetes. *Comput Inform Nurs*. 2019;37(8):413-419. [CrossRef PubMed](#)
45. Pérez-Gandía C, García-Sáez G, Subías D, et al. Decision Support in Diabetes Care: The Challenge of Supporting Patients in Their Daily Living Using a Mobile Glucose Predictor. *J Diabetes Sci Technol*. 2018;12(2):243-250. [CrossRef PubMed](#)
46. Giordanengo A, Årsand E, Woldaregay AZ, et al. Design and Prestudy Assessment of a Dashboard for Presenting Self-Collected Health Data of Patients With Diabetes to Clinicians: Iterative Approach and Qualitative Case Study. *JMIR Diabetes*. 2019;4(3):e14002. [CrossRef PubMed](#)



47. Isaković M, Sedlar U, Volk M, Bešter J. Usability Pitfalls of Diabetes mHealth Apps for the Elderly. *J Diabetes Res.* 2016;2016:1604609. [CrossRef PubMed](#)
48. VHA kidney Program. [Online](#) (last accessed march 14, 2021).
49. Beste LA, Mattox EA, Pichler R, et al. Primary Care Team Members Report Greater Individual Benefits from Long- Versus Short-Term Specialty Telemedicine Mentorship. *Telemed J E Health.* 2016;22(8):699-706. [CrossRef PubMed](#)
50. Forbes RC, Broman KK, Johnson TB, et al. Implementation of telehealth is associated with improved timeliness to kidney transplant waitlist evaluation. *J Telemed Telecare.* 2018;24(7):485-491. [CrossRef PubMed](#)
51. Rohatgi R, Ross MJ, Majoni SW. Telenephrology: current perspectives and future directions. *Kidney Int.* 2017;92(6):1328-1333. [CrossRef PubMed](#)
52. Ishani A, Christopher J, Palmer D, et al; Center for Innovative Kidney Care. Telehealth by an Interprofessional Team in Patients With CKD: A Randomized Controlled Trial. *Am J Kidney Dis.* 2016;68(1):41-49. [CrossRef PubMed](#)
53. Jensen PB, Jensen LJ, Brunak S. Mining electronic health records: towards better research applications and clinical care. *Nat Rev Genet.* 2012;13(6):395-405. [CrossRef PubMed](#)
54. Pons E, Braun LM, Hunink MG, Kors JA. Natural language processing in radiology: a systematic review. *Radiology.* 2016;279(2):329-343. [CrossRef PubMed](#)
55. Rizzetto F, Bernareggi A, Rantas S, Vanzulli A, Vertemati M. Immersive Virtual Reality in surgery and medical education: diving into the future. *Am J Surg.* 2020;220(4):856-857. [CrossRef PubMed](#)
56. Huber T, Wunderling T, Paschold M, Lang H, Kneist W, Hansen C. Highly immersive virtual reality laparoscopy simulation: development and future aspects. *Int J CARS.* 2018;13(2):281-290. [CrossRef PubMed](#)
57. Fasel JH, Aguiar D, Kiss-Bodolay D, et al. Adapting anatomy teaching to surgical trends: a combination of classical dissection, medical imaging, and 3D-printing technologies. *Surg Radiol Anat.* 2016;38(3):361-367. [CrossRef PubMed](#)
58. Damewood RB, Blair PG, Park YS, Lupi LK, Newman RW, Sachdeva AK. "Taking Training to the Next Level": The American College of Surgeons Committee on Residency Training Survey. *J Surg Educ.* 2017;74(6):e95-e105. [CrossRef PubMed](#)
59. Parkhomenko E, O'Leary M, Safiullah S, et al. Pilot Assessment of Immersive Virtual Reality Renal Models as an Educational and Preoperative Planning Tool for Percutaneous Nephrolithotomy. *J Endourol.* 2019;33(4):283-288. [CrossRef PubMed](#)
60. Bernardo A. Virtual Reality and Simulation in Neurosurgical Training. *World Neurosurg.* 2017;106:1015-1029. [CrossRef PubMed](#)
61. Lee C, Wong GKC. Virtual reality and augmented reality in the management of intracranial tumors: A review. *J Clin Neurosci.* 2019;62:14-20. [CrossRef PubMed](#)
62. Drouin S, Kochanowska A, Kersten-Oertel M, et al. IBIS: an OR ready open-source platform for image-guided neurosurgery. *Int J CARS.* 2017;12(3):363-378. [CrossRef PubMed](#)
63. Pieterse AD, Huurman VAL, Hierck BP, Reinders MEJ. Introducing the innovative technique of 360° virtual reality in kidney transplant education. *Transpl Immunol.* 2018;49:5-6. [CrossRef PubMed](#)
64. Wake N, Nussbaum JE, Elias MI, Nikas CV, Bjurlin MA. 3D Printing, Augmented Reality, and Virtual Reality for the Assessment and Management of Kidney and Prostate Cancer: A Systematic Review. *Urology.* 2020;143:20-32. [CrossRef PubMed](#)
65. Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation in People With Stroke: an Overview. *J Neurosci Nurs.* 2019;51(2):101-105. [CrossRef PubMed](#)
66. Aramaki AL, Sampaio RF, Reis ACS, Cavalcanti A, Dutra FCMSE. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2019;77(4):268-278. [CrossRef PubMed](#)
67. Semeraro F, Scapigliati A, Ristagno G, et al. Virtual Reality for CPR training: how cool is that? Dedicated to the "next generation". *Resuscitation.* 2017;121:e1-e2. [CrossRef PubMed](#)
68. McGrath JL, Taekman JM, Dev P, et al. Using Virtual Reality Simulation Environments to Assess Competence for Emergency Medicine Learners. *Acad Emerg Med.* 2018;25(2):186-195. [CrossRef PubMed](#)
69. Li C, Liang W, Quigley C, Zhao Y, Yu LF. Earthquake Safety Training through Virtual Drills. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2017;23(4):1275-1284. [CrossRef PubMed](#)
70. Duan YY, Zhang JY, Xie M, Feng XB, Xu S, Ye ZW. Application of Virtual Reality Technology in Disaster Medicine. *Curr Med Sci.* 2019;39(5):690-693. [CrossRef](#). Erratum in: *Curr Med Sci.* 2020 Dec;40. 6.: 1205. [PubMed](#)