

Rassegna

L'acquisizione e la gestione delle immagini nel laboratorio digitale di ecocardiografia

Paolo Trambaiolo, Alfredo Posteraro, Alessandro Salustri, Elisabetta Amici, Maurizio Piaggio*, Cesare Decanini**, Giancarlo Gambelli, con la collaborazione del tecnico di ecocardiografia Ennio Rinaldi e degli infermieri professionali Anna Malaspina, Marco Di Maggio, Anita Gomes

Laboratorio di Ecocardiografia, U.O. di Cardiologia, Presidio Ospedaliero Integrato Portuense, Roma, *Medimatic, Genova, **Sistemi Informatici, Presidio Ospedaliero Integrato Portuense, Roma

Key words:

Digital echo lab;
Echocardiography.

The implementation of a digital echocardiography laboratory exists today using the DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine) standard to acquire, store and transfer echocardiographic digital images. The components of a laboratory include: 1) digital echocardiography machines with DICOM output, 2) a switched high-speed local area network, 3) a DICOM server with abundant local storage, and 4) a software to manage image and measurement information.

The aim of this article was to describe the critical components of a digital echocardiography laboratory, discuss strategies for implementation, and describe some of the pitfalls that we encountered in our own implementation of the digital third level echocardiography laboratory.

(Ital Heart J Suppl 2004; 5 (7): 517-526)

© 2004 CEPI Srl

Ricevuto il 19 febbraio 2004; nuova stesura l'8 giugno 2004; accettato il 10 giugno 2004.

Per la corrispondenza:

Dr. Paolo Trambaiolo

Laboratorio
di Ecocardiografia
U.O. di Cardiologia
Presidio Ospedaliero
Integrato Portuense
Via dei Badoer, 5
00148 Roma
E-mail:
p.trambaiolo@flashnet.it

Il laboratorio digitale di ecocardiografia

Nel 1992 l'American Society of Echocardiography formò una Task Force con la missione di educare la comunità scientifica degli ecografisti al passaggio al formato digitale, approvando lo standard DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine) come quello di riferimento per l'ecocardiogramma e stabilì le linee guida generali per l'ecocardiografia digitale¹. Da allora il passaggio analogico/digitale è stato molto lento ma oggi nel 2004 si può affermare che il necessario per costruire un laboratorio digitale è a disposizione di tutti sia in termini di validazione scientifica che commerciali. Tuttavia, come riportato da Thomas et al.² in un recente editoriale, una revisione dei dati del Laboratory Data Project of the American Society of Echocardiography ha dimostrato come solo il 3% dei laboratori di ecocardiografia considera come preminente nei loro progetti il passaggio al digitale.

Il laboratorio di ecocardiografia tradizionale (analogico) presenta varie problematiche evidenti: necessità di ampi spazi fisici e di personale per l'archiviazione dei videotape e dei referti, laboriosa visualizzazione di un esame in un videotape pre-

cedentemente archiviato, assenza di qualunque strumento per il controllo di qualità, amministrativo e clinico del laboratorio³.

Dal punto di vista clinico non vanno dimenticati il decadimento della qualità delle immagini nel tempo e l'impossibilità di confrontare in contemporanea ("side-by-side") due esami seriati^{4,5}. Infine, il limite clinico maggiore è rappresentato dal fatto che il laboratorio analogico di ecocardiografia rappresenta una barriera all'utilizzo delle immagini nella decisione clinica: in genere gli esami ecocardiografici sono registrati l'uno di seguito all'altro su un videotape ed il clinico deve pertanto prendere le proprie decisioni sul referto scritto dall'ecografista senza poter visualizzare direttamente le immagini (come fa ad esempio per l'elettrocardiogramma o la radiografia del torace), a meno di recarsi personalmente fino al laboratorio di ecografia. Inoltre, la trasmissione delle immagini da un ospedale all'altro può avvenire solo mediante una copia del videotape.

In un laboratorio digitale di ecocardiografia tutte le informazioni (comprese le immagini) sono acquisite, analizzate, elaborate e trasmesse direttamente in forma digitale. Il maggior vantaggio è che la me-

morizzazione delle immagini da parte dell'ecocardiografista (medico o tecnico) avviene su supporto digitale (tipicamente disco magneto-ottico, hard disk o server); la revisione dell'esame, le misurazioni, la refertazione e il confronto con esami precedenti sono effettuati in un secondo tempo ("off-line") da una centrale di revisione remota (in genere un personal computer-PC dedicato in rete) lasciando l'ecocardiografo disponibile per altri esami. Il tempo di refertazione è notevolmente accelerato poiché i dati anagrafici sono già stati registrati al momento dell'accettazione ed il referto potrà essere direttamente consegnato al paziente o spedito (fax, E-mail, condiviso in rete telematica intra o interospedaliera) al reparto od ospedale richiedente. L'archiviazione dei referti e delle immagini viene poi gestita su archivi elettronici. I dati sono facilmente elaborabili a fini amministrativi, scientifici, e per l'attuazione dei controlli di qualità del laboratorio⁶.

Dal punto di vista clinico, le immagini possono essere riviste su PC dedicati a distanza (eventualmente anche in altri ospedali), confrontate fianco a fianco con quelle di esami precedenti, fornendo quindi al cardiologo clinico uno strumento di lavoro ben diverso dal semplice referto cartaceo. Il tempo di accesso alle immagini digitali è ridotto fino al 90% ed è possibile passare velocemente da un paziente all'altro e, per uno stesso paziente, da una sezione all'altra di un dato esame in ordine casuale con riduzione del tempo di refertazione di circa il 10%⁷.

Prima di passare a descrivere come dovrebbe essere strutturato un laboratorio di ecocardiografia, un breve accenno allo standard DICOM.

Il DICOM identifica uno standard ora alla versione 3.0, introdotto dall'American College of Cardiology/American College of Radiology-National Electrical Manufacturers Association appositamente per l'interscambio di immagini mediche (ecocardiografia, angiografia, risonanza magnetica nucleare, tomografia computerizzata, ecc.)⁸⁻¹⁰. Nel DICOM sono infatti pre-

viste diverse codifiche dei colori (monocromatica, YBR, RGB, ecc.), diverse tecniche di compressione (RLE, JPEG LOSSLESS, JPEG LOSSY, JPEG 2000, ecc.) nonché numerose informazioni aggiuntive sul paziente o sull'esame in corso (Fig. 1). Ogni produttore di medicali è obbligato a fornire un documento, denominato *DICOM Conformance Statement*, nella quale viene dichiarata la tipologia di adesione allo standard.

Un laboratorio digitale di ecocardiografia è composto dai seguenti elementi:

- uno o più ecografi digitali dotati di uscita DICOM di rete;
- un server DICOM centrale per l'archiviazione;
- una o più stazioni di lettura/refertazione;
- un'infrastruttura di rete per la connessione dei diversi elementi.

Sebbene nella restante parte della rassegna faremo riferimento a tale configurazione occorre sottolineare che in strutture di piccole dimensioni è possibile concentrare il server e la stazione di lettura/refertazione in un unico calcolatore al fine di ridurre i costi necessari. Inoltre è altresì possibile sostituire il trasferimento automatico in rete con il trasporto manuale delle immagini su supporto rimovibile (ad esempio, un disco magneto-ottico; tecnica denominata "sneaker-net"). In questi casi occorre comunque verificare che la soluzione acquistata sia in grado di scalare di dimensioni nel caso di un ampliamento della struttura e/o dell'attività.

L'ecografo digitale con uscita DICOM. Per un laboratorio digitale gli ecografi devono essere dotati di un uscita di rete in formato DICOM in modo da poter archiviare automaticamente gli esami sul server centrale.

Normalmente, in relazione al modello di ecografo e software in dotazione, si può scegliere se inviare le varie immagini tutte insieme alla fine dell'esame o, in maniera più efficiente, mentre si esegue l'esame. In quest'ultimo caso non si determinano perdite di tempo tra la fine dello studio e la lettura/refertazione da parte del cardiologo.

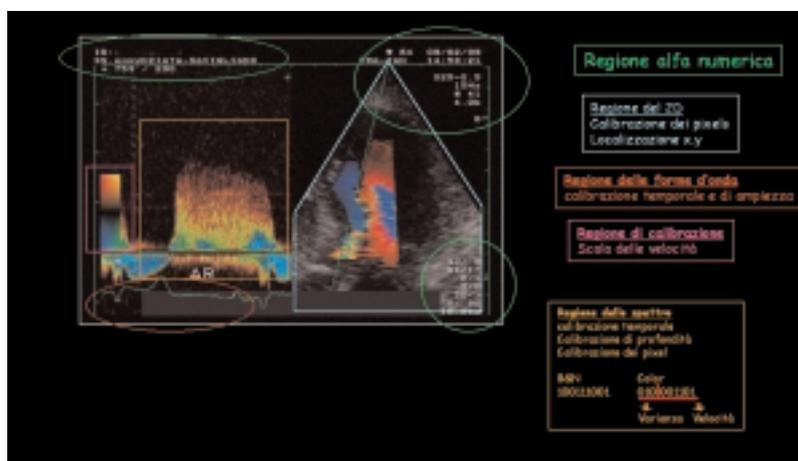


Figura 1. Standard DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine): regioni di calibrazione all'interno dell'informazione oggetto dell'ecocardiografia. AR = rigurgito aortico.

In caso invece la macchina non sia collegata alla rete (ad esempio, in caso di un esame al letto del paziente), l'esame verrà memorizzato nel disco rigido della macchina ed in seguito trasferito al server non appena l'ecocardiografo sarà di nuovo connesso alla rete. In caso non sia disponibile la rete, l'esame può essere salvato sul disco magneto-ottico in dotazione all'ecografo ed in seguito scaricato sul server DICOM mediante un lettore di disco magneto-ottico esterno ("sneaker-net"). Il trasferimento è ovviamente più lento ma il disco magneto-ottico offre una valida alternativa alla mancanza della rete in quanto le immagini sono in formato digitale ed il trasferimento non comporta perdita di dati.

Come già accennato, è possibile collegare ecografi analogici o comunque sprovvisti di standard DICOM ad apparecchi (generalmente calcolatori con apposite schede di acquisizione) per convertire il segnale analogico prelevato dall'uscita video del monitor in un formato DICOM. La qualità non è esattamente la stessa (Fig. 2) ma la soluzione è comunque spesso praticabile nel caso non vi fossero alternative.

Il server DICOM centrale. Una volta lasciato l'ecocardiografo i dati del nostro esame ecocardiografico verranno memorizzati in un server DICOM centrale. Questo speciale calcolatore ad elevate prestazioni deve avere alcune caratteristiche fondamentali per svolgere al meglio le proprie funzioni. In particolare, oltre al corretto dimensionamento della memoria, dei processori e dello spazio di archiviazione, il server deve essere "ridondante" da diversi punti di vista:

- l'alimentazione – il server dovrebbe essere dotato di alimentatore ridondante ("hot-swap") in modo che in caso di rottura di un alimentatore il server non debba essere spento ma possa continuare a lavorare, sostituendo l'alimentatore difettoso a caldo. Occorre notare come questa caratteristica è in aggiunta a sistemi di batterie (UPS) che comunque devono essere presenti e correttamente dimensionati ma che impediscono lo spegnimento solo per assenza di alimentazione e non per rottura dell'alimentatore;
- l'archiviazione su disco rigido deve essere in modalità RAID (Redundant Array of Independent Disks), ovve-

ro i dati devono essere salvati contemporaneamente su più dischi in modo da poterli recuperare anche in caso di rottura di uno di questi dischi. Le tecniche RAID sono di diverso tipo: dal più semplice RAID 1 ("mirroring") al più efficiente RAID 5 che però richiede un controllore dei dischi apposito per l'accelerazione ad hardware delle operazioni.

La ridondanza, ed in particolare i dischi RAID, sono fondamentali per preservare i dati in attesa di salvataggio su supporto ottico. Anche in questo caso è preferibile un sistema RAID "hot-swap" in modo che non si debba spegnere il server per la sostituzione del disco difettoso. Inoltre alcuni controllori consentono anche di avere dischi denominati "hot-spare". Questi dischi sono presenti ma normalmente non in funzione. Essi vengono attivati nel momento in cui un disco si rompe per sostituirsi automaticamente (senza intervento umano) al disco difettoso in attesa di sostituzione. Questo metodo consente di preservare la sicurezza dei dati anche nell'intervallo di tempo tra la rottura del disco e la sua sostituzione, in cui il sistema RAID tradizionale è temporaneamente a rischio (si possono infatti recuperare i dati solo in caso di rottura di un solo disco e non di più di uno). Lo spazio di archiviazione del RAID dovrà essere di dimensioni adatte al lavoro del laboratorio ecocardiografico, tenendo presente quanti esami dovranno rimanere nei dischi e per quanto tempo per un'eventuale consultazione (ad esempio confronto di esami dello stesso paziente) prima del necessario back-up.

Oltre all'archivio locale, che ovviamente sarà destinato a riempirsi, è essenziale prevedere la creazione di un archivio a lungo termine, che comunque dovrà permettere ugualmente la consultazione di esami precedentemente archiviati. Il tutto dipende dalle dimensioni del laboratorio e quindi dalla mole di lavoro programmato. I supporti sono i più vari (magneto-ottici, CD-ROM, DVD, ecc.) anche se recentemente i DVD si stanno sempre più evidenziando. Infatti un DVD-RAM può oggi contenere oltre 9 Gb di dati consentendo l'archiviazione ed il recupero ad un costo molto contenuto. Per i magneto-ottici vi sono invece costi elevati sia nei supporti di archiviazione che nei dispositivi di lettura; per il CD-

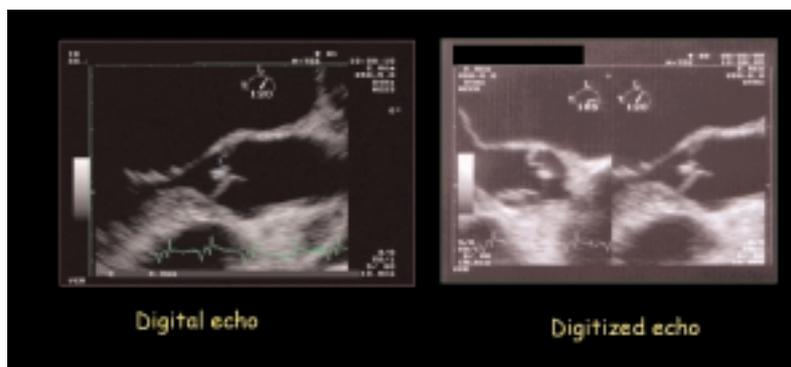


Figura 2. Confronto nello stesso paziente tra un'immagine digitale e digitalizzata.

ROM i costi sono molto bassi come purtroppo anche la capacità di archiviazione per ogni supporto.

Occorre sottolineare come, grazie al progresso della tecnologia, le soluzioni con juke-box di magneto-ottici o DVD possano essere facilmente sostituite da sistemi RAID di grandi dimensioni. Questi ultimi sono non solo più efficienti, consentendo un immediato accesso alle immagini (senza gli inevitabili tempi di latenza dei juke-box dovuti al caricamento del supporto), ma consentono anche di ridurre i costi complessivi.

Ovviamente la memorizzazione su supporto ottico è fondamentale a fini legali (anche se per il momento questo non si applica ancora agli esami di ecocardiografia) ma tale archiviazione può essere svolta da un semplice masterizzatore DVD sul server o, in caso di elevati volumi settimanali, da un robot masterizzatore. I DVD verranno semplicemente archiviati senza risiedere in un juke-box perché comunque le immagini rimarranno in copia e immediatamente disponibili sul sistema RAID.

L'infrastruttura di rete. *La rete interna.* In un laboratorio digitale la trasmissione in rete delle immagini e dei dati tra gli ecografi, l'archivio centrale e le stazioni di lettura/refertazione è un aspetto fondamentale. Infatti le dimensioni di uno studio ecocardiografico completo possono variare tra 50 e 100 MB. Se si considera che questo volume di dati deve viaggiare "in andata" nel momento in cui viene memorizzato sul server centrale dall'ecografo e "in ritorno" ogni qualvolta l'esame viene richiamato dalle stazioni di lettura, l'efficienza della rete è una condizione irrinunciabile.

Reti di vecchia generazione consentivano velocità nominali (quelle reali sono significativamente più basse) di 10 Megabits/s, ovvero circa 1.25 MB/s. In questo contesto ed in assenza di altri ritardi il trasferimento di un esame standard pari a 50 MB occupa almeno 40 s. Inoltre se tale trasferimento avviene in contemporanea ad altri (per esempio un esame viene richiamato in lettura mentre un altro esame viene memorizzato sul server) i tempi aumentano per la condivisione della banda.

Una rete a 100 Megabits/s, oramai la più comunemente adottata, riduce questi tempi a un decimo ed è la più consigliata. Inoltre sono facilmente disponibili anche reti a 1 Gigabit (1000 Megabits) al secondo che sono ancora 10 volte più veloci. Tuttavia in questi casi occorre sottolineare come le prestazioni complessive spesso non aumentino di conseguenza a causa dei ritardi introdotti dagli altri componenti del sistema, ovvero dai PC collegati (processore, dischi rigidi, ecc.).

Un aspetto rilevante della rete è l'interconnessione dei diversi nodi. Generalmente si adotta una configurazione detta "a stella" nella quale agli estremi della stella vi sono i nodi da collegare (archivio centrale, ecografi, stazioni di lettura) mentre al centro vi è un dispositivo per smistare le informazioni. Il dispositivo centrale può essere un "hub" o uno "switch" e, a seconda di quello scelto, le prestazioni variano significativa-

mente. Nel caso di un "hub" i diversi nodi vengono collegati assieme condividendo la banda complessiva. In questo contesto se abbiamo 10 nodi che comunicano contemporaneamente la stessa mole di dati su di una rete a 100 Megabits/s, ogni nodo potrà avere solo 10 Megabits/s di banda. Nel caso di uno "switch" il collegamento è svolto in modo attivo e si può potenzialmente conservare la banda su ogni connessione. Nello stesso esempio ogni nodo può utilizzare i complessivi 100 Megabits/s di banda, con l'evidente risultato di una comunicazione 10 volte più veloce.

La rete esterna. Il collegamento con la rete esterna, che generalmente è indipendente dall'efficienza della rete interna, è un aspetto anch'esso importante per un laboratorio digitale sia per applicazioni di teleconsulto/telemedicina che per motivi di assistenza remota al fine di ridurre i tempi ed i costi.

La tipologia di connessione verso l'esterno può essere di diverso tipo e con prestazioni molto differenti. Come riferimento riportiamo i tempi di trasmissione di un esame ecocardiografico di 50 MB per le tipologie di connessioni più comuni (Tab. I).

Infine occorre sottolineare che la connessione del laboratorio verso l'esterno non deve solo occuparsi dei tempi di trasmissione ma anche della sicurezza dei dati. In questi casi occorre che gli accessi siano protetti da sistemi con password e da "firewall" per evitare intrusioni.

La stazione di lettura/refertazione. La stazione di lettura/refertazione consente di accedere agli esami archiviati nel server centrale e può essere dotata di diverse funzioni per effettuare misure e calcoli sulle immagini, elaborare ed archiviare un referto o anche masterizzare l'esame su di un CD da fornire al paziente.

Queste stazioni sono, oltre agli ecografi, uno strumento di lavoro giornaliero del personale medico, visto che la gestione del server è normalmente effettuata da personale tecnico. Per questo motivo è importante che il software in dotazione sia non solo potente ma anche studiato appositamente per fornire un'interfaccia semplice e rapida. Inoltre è molto importante verificare che tali stazioni siano compatibili con le diverse tipologie di codifica all'interno del formato DICOM in modo da

Tabella I. Tempi di trasmissione di un esame ecocardiografico (50 MB) per le tipologie di connessioni più comuni.

Modalità di trasmissione	Tempo di trasmissione
28.8 Kb/s modem	3.9 ore
112 Kb/s ISDN line	1 ora
768 cable modem	8.6 min
1.54 Mb/s T1 line	4.4 min
10 Mb/s Ethernet	40 s
45 Mb/s DS3	9 s
100 Mb/s Ethernet	4 s
650 Mb/s ATM	0.6 s

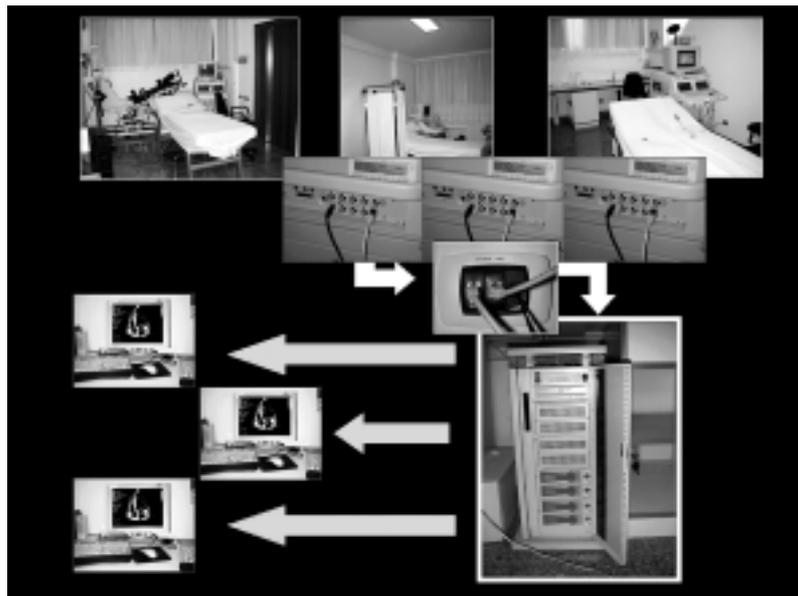


Figura 4. Descrizione delle connessioni tra server, ecocardiografi e "computer client".



Figura 5. Stanza denominata archivio digitale.



Figura 6. Stanza denominata refertazione.

puter di refertazione (integrato nel sistema informatico dell'Unità Operativa di Cardiologia). Il "computer client" è collegato direttamente al server DICOM e viene utilizzato per la revisione dell'esame, l'effettuazione delle misure e la masterizzazione dell'esame su CD-ROM da consegnare al paziente. Sul secondo computer collegato alla rete vengono riversate in automatico le misure effettuate sul "client" utilizzando il software e stilato il referto, così da rendere disponibile sulla cartella clinica computerizzata l'esame ecocardiografico alla stregua di tutti gli altri esami strumentali e, aspetto molto importante, nella medesima banca dati e nella medesima veste grafica.

Un'appendice del laboratorio si trova al piano di degenza dove nella stanza è posizionato un altro ecocardiografo "full digital" con uscita DICOM, collegato in rete, ed un terzo "computer client" del server DICOM.

Protocollo di acquisizione. Il nostro protocollo di acquisizione (Tab. II) è strutturato indipendentemente dal motivo dell'esame o dalla patologia preesistente del pa-

ziente. Il tecnico o il medico che effettua l'esame segue in maniera rigida il protocollo di acquisizione concordato in precedenza con possibilità di aggiungere anche sezioni off-axis o con zoom. La valutazione della velocità del rigurgito tricuspide viene effettuato sulla proiezione che presenta la possibilità del migliore allineamento con il campionamento del Doppler ad onda continua. Il personale medico può riservare ad i pazienti critici una riduzione del numero di acquisizioni o una modifica del tipo di acquisizione. Inoltre sia il tecnico che il medico possono effettuare anche delle proiezioni aggiuntive se lo ritengono necessario.

Refertazione. Le immagini/loop vengono inviate al server DICOM durante l'effettuazione dell'esame o, in caso quest'ultimo venga acquisito al letto del paziente, quando l'ecocardiografo verrà riconnesso alla rete. Le immagini/loop possono essere riviste man mano che arrivano al server (Fig. 8) o in un secondo tempo (on-line vs off-line). Vengono quindi effettuate le misurazioni e viene generato automaticamente un referto in formato



Figura 7. “Computer client” dove vengono rivisti e repertati gli esami ecocardiografici.

word o pdf. Le misurazioni tuttavia possono essere anche esportate in automatico verso la cartella clinica computerizzata entrando a far parte del database di tutta l’Unità Operativa di Cardiologia. In fine l’infermiera con due semplici passaggi invia l’esame al masterizzatore per creare un CD, contenente anche un DICOM “viewer” che permette la visualizzazione delle immagini/loop su qualsiasi computer mediante un “auto-eseguibile” (“autorun”), come già avviene per gli esami emodinamici. Contestualmente viene creata anche una copertina per il CD che prevede il nome della struttura, il tipo di esame, nome del paziente e data dell’esame. Il CD viene consegnato al paziente al momento della consegna del referto o al momento della dimissione dal reparto di degenza. Da una prima analisi del rapporto costo/beneficio si è evidenziato un discreto risparmio nella sostituzione della tradizionale stampa in bianco e nero e a colori con il CD.

Considerazioni

Dimensioni del laboratorio. La soluzione per il passaggio al digitale che è stata adottata è scalabile in base alla dimensione del laboratorio. Un piccolo laboratorio con un solo ecografo potrebbe dotarsi di una singola stazione con funzionalità sia di archiviazione che di revisione. Per questo motivo l’investimento è proporzionale alla dimensione del laboratorio ed è quindi accessibile alle diverse realtà.

Ruolo del medico. L’educazione della comunità medica al fine di ottenere l’accettazione completa del passaggio dall’analogico al digitale, è un passo fondamentale ed indispensabile. È evidente che laddove l’acquisizione avviene già su videocassette con un protocollo rigido le cose vanno meglio, mentre nella maggior parte dei casi dove ciò non avviene è necessario convincere praticamente i colleghi sull’utilità della gestione digitale delle immagini mediche.

Nonostante la possibilità di rivedere gli esami anche utilizzando le videocassette, abbiamo registrato un crescente entusiasmo nell’utilizzo del digitale e non solo

Tabella II. Protocollo di acquisizione delle sezioni ecocardiografiche.

Sezioni	Tipo
Esame bidimensionale sezione asse lungo parasternale, aorta ascendente e bulbo M-mode	Fotogramma
Aorta	Fotogramma
Ventricolo sinistro	Fotogramma
Esame bidimensionale sezione asse lungo parasternale	
Color	Ciclo continuo
Esame bidimensionale sezione asse corto parasternale	
Apice	Ciclo continuo
Papillari	Ciclo continuo
Mitrale	Ciclo continuo
Mitrale color	Ciclo continuo
Aorta	Ciclo continuo
Aorta color	Ciclo continuo
Esame bidimensionale polmonare color	Ciclo continuo
Esame Doppler ad onda continua polmonare	Fotogramma
Esame bidimensionale 4 camere	Ciclo continuo
Esame Doppler ad onda pulsata	
Mitrale	Fotogramma
Vene polmonari	Fotogramma
Esame bidimensionale 4 camere color	Ciclo continuo
M-mode color inflow mitralico	Fotogramma
Esame Doppler ad onda pulsata con esame TDI	
Anello SIV	Fotogramma
Anello LAT	Fotogramma
Esame bidimensionale 5 camere	Ciclo continuo
Color	Ciclo continuo
Esame Doppler ad onda continua aorta	Fotogramma
Esame Doppler ad onda pulsata del LVOT	Fotogramma
Esame bidimensionale 2 camere	Ciclo continuo
Color	Ciclo continuo
Esame bidimensionale 3 camere	Ciclo continuo
Color	Ciclo continuo
Esame Doppler ad onda continua tricuspide	Fotogramma
Esame bidimensionale arco aortico	Fotogramma
Esame Doppler ad onda continua aorta discendente	Fotogramma
Esame bidimensionale sottocostale	Ciclo continuo
Color	Ciclo continuo
× VCI	Fotogramma

LAT = anello laterale del ventricolo sinistro; LVOT = tratto di efflusso del ventricolo sinistro; SIV = setto interventricolare; TDI = Doppler tissutale; VCI = vena cava inferiore.

per la velocità di consultazione di un esame ma anche per la possibilità del confrontare esami precedenti e di qualità elevata.

Ruolo del personale infermieristico. Il compito tradizionale dell’infermiera di effettuare il riconoscimento e la registrazione del paziente e di aiutare il paziente stesso nel porsi nella posizione supina corretta all’effettuazione dell’esame, posizionando in fine gli elettrodi dell’elettrocardiogramma può essere svolto dal tecnico di ecocardiografia. In caso invece di esami speciali (ecostress o transesofagea) i compiti dell’infermiera saranno gli stessi di un laboratorio analogico.



Figura 8. Esempio di una pagina del software: come rivedere un esame.

Ruolo del tecnico di ecocardiografia. I compiti ed il ruolo del tecnico di ecocardiografia non cambiano sia nel laboratorio digitale che in quello analogico. Tuttavia nel laboratorio digitale non si può più prescindere dalla figura del tecnico di ecocardiografia, in quanto l'architettura stessa del laboratorio, prevedendo dei rigidi protocolli di acquisizione e gestione sia dell'esame che delle immagini, richiede un nuovo tipo di personale dedicato ad un utilizzo delle macchine molto più standardizzato, riservando ad un secondo momento (analisi offline) il lavoro più propriamente diagnostico.

Attualmente dal punto di vista istituzionale, la figura professionale del tecnico di ecocardiografia non esiste. I laboratori che hanno creduto in anticipo alla presenza del "sonographer", hanno addestrato autonomamente un infermiere dedicandolo in maniera esclusiva al laboratorio di ecocardiografia. Per ciò che concerne la competenza in ecocardiografia il percorso formativo per via istituzionale è ancora in via di definizione da parte dell'area nursing sia dell'ANMCO che della SIEC. Il tecnico di ecocardiografia deve possedere una buona familiarità con le varie marche e tipologie di ecocardiografi e le relative modalità di acquisizione delle immagini. Inoltre deve effettuare un attento controllo della qualità della traccia elettrocardiografica per una corretta temporizzazione dell'acquisizione. In fine l'adozione di un protocollo fisso di acquisizione delle immagini è condizione indispensabile per il successivo confronto di esami. Il protocollo dovrebbe contemplare tutte le proiezione e le immagini fisse bidimensionali, M-mode, color e Doppler, indipendentemente se il paziente *a priori* sia considerato normale o patologico (ad esempio una stenosi aortica da ricontrollare).

Il tecnico di ecocardiografia ha accettato con entusiasmo il "nuovo" lavoro anche per il vantaggio rispetto al passato di poter rivedere le immagini acquisite mediante

il sistema con il paziente ancora presente e di poter quindi correggere eventuali errori in tempo reale, oppure di condividere con il medico la lettura/refertazione. Inizialmente i tempi di acquisizione sono stati lunghi (circa 40 min), ma si sono assestati dopo 6 mesi sui 20 min.

Risvolti medico-legali. Le immagini digitali devono essere memorizzate, dal punto di vista medico-legale, su supporti ottici quali i CD e DVD. Occorre sottolineare che questo requisito non implica la presenza di un juke-box. Infatti occorre distinguere la memorizzazione per l'accessibilità in linea dall'archiviazione vera e propria. La prima si può dotare di supporti magnetici (hard disk, RAID, ecc.) per un recupero più rapido ed efficiente. La seconda deve utilizzare supporti ottici che possono essere posti non in linea, su normali scaffalature, come back-up medico-legale mentre la loro copia magnetica viene utilizzata per l'accesso in linea.

La registrazione su videocassetta, del resto già oggi non obbligatoria, ma consigliata sia per i possibili risvolti medico-legali in caso di contenzioso, sia per chiarire dubbi o quesiti diagnostici in tempi successivi all'esame, è stata utilizzata nei primi mesi di questa nostra esperienza. Dopo il primo anno abbiamo deciso di non utilizzarla perché di ogni esame possediamo allo stesso tempo varie copie archiviate. In particolare l'esame viene contemporaneamente memorizzato sul disco rigido dell'ecografo (per circa 2 settimane) e nel server DICOM (per circa 2 anni) e nel frattempo è stata fatta, salvata in back-up, una copia nel DVD-RAM.

Rapporto costo/beneficio. I costi per l'organizzazione descritta sono nell'ordine di 50 000 Euro ed il suo ammortamento si può considerare legato al ciclo di vita degli ecografi in uso a meno che esigenze esterne (per esempio implementazioni nel sistema informativo

ospedaliero con il quale si richiede che il sistema comunichi, nuovi requisiti e standard per l'archiviazione di immagini, nuovi modelli di ecografi, ecc.) non ne richiedano un aggiornamento in tempi più brevi.

Manutenzione ed interventi di assistenza. Il sistema necessita di un primo periodo di "rodaggio" sia per la necessità di familiarizzare con il sistema del personale della struttura, sia per le problematiche legate alla stabilità della rete in cui il sistema è inserito. Nella nostra esperienza si è rivelato molto utile un collegamento via web per consentirne la teleassistenza e velocizzare gli eventuali interventi di manutenzione software che si possano rendere necessari.

Back-up e utilizzo della registrazione su videocassetta. Le procedure di back-up consistono nel trasferimento delle immagini dal sistema RAID a DVD. La procedura è guidata dal sistema e può essere completamente automatizzata, anche mediante l'utilizzo di robot masterizzatori per i centri con un volume di dati elevato.

La sua frequenza dipende dal volume di attività del laboratorio e può essere stabilita manualmente o impostata nel sistema. Nel nostro caso viene effettuata settimanalmente.

Ad ogni masterizzazione il sistema assocerà un'etichetta univoca a ciascun DVD in modo da poter facilmente identificare su quale DVD sono stati archiviati determinati esami. Al momento di dover cancellare gli esami dall'hard disk per il raggiungimento della capienza, il sistema conserverà in memoria comunque l'anagrafica ed il numero del disco sul quale è stato effettuato il back-up di quel paziente, al fine di velocizzare e semplificare la ricerca di esami precedenti.

Artefatti di acquisizione. La registrazione tradizionale su videocassette permette di memorizzare pressoché in continuo molti cicli per ogni evento analizzato. Al fine di evitare errori nell'acquisizione digitale delle immagini (ad esempio visualizzare on-line un rigurgito moderato e poi non salvarlo nel momento che si memorizza un singolo ciclo cardiaco, ad esempio per l'involontario movimento della sonda) abbiamo settato l'ecocardiografo in modo tale che ci permetta di rivedere in automatico il loop prima di memorizzarlo.

Artefatti secondari alla traccia elettrocardiografica. Un altro punto cruciale è la traccia elettrocardiografica sull'ecocardiografo. Il problema è facilmente risolvibile con l'utilizzo di elettrodi di buona qualità e l'attenta cura del cavo paziente proveniente dall'ecografo. In caso di fibrillazione atriale, all'inizio dell'esame si programma l'ecocardiografo al fine di acquisire almeno tre cicli per volta.

Segnale Doppler privo di audio. Un problema che ci siamo posti è stato quello della mancanza dell'informazione audio per l'analisi Doppler. Tuttavia ci siamo re-

si conto che il sonoro dell'esame Doppler è molto importante durante l'acquisizione per ottenere una curva ottimale, mentre durante le misurazioni la forma della curva ottenuta guida in maniera appropriata il medico refertatore e non necessita dell'informazione audio.

Conclusioni

A conclusione di questa rassegna abbiamo deciso di riassumere i punti principali in alcune semplici domande alle quali, a nostro avviso, è indispensabile rispondere al fine di impostare il passaggio al laboratorio digitale e cosa più importante al fine di adattarlo alla realtà lavorativa della struttura cardiologica che se ne servirà.

1. Quanti sono gli ecocardiografi?
2. Sono della stessa azienda?
3. Quanti esami prevediamo di effettuare al giorno?
4. Quanti esami vogliamo avere on-line da consultare (tutti, solo quelli dell'ultimo anno, ecc.)?
5. Abbiamo una rete locale (LAN)?
6. Quale sarà il supporto di archiviazione dei dati (server, magneto-ottico, CD, ecc.)?
7. Qual è l'attuale modalità operativa del laboratorio di ecocardiografia e come dovrebbe cambiare?
8. Chi avrà accesso ai dati (tutti, persone/reparti selezionati)?
9. Come saranno messi in relazione dati ed immagini?
10. Chi eseguirà gli esami?
11. Quando saranno refertati?

Riassunto

L'impossibilità a rivedere un'immagine in tempi utili può avere serie conseguenze diagnostiche e terapeutiche. Per questo motivo è stato proposto dall'American College of Cardiology/American College of Radiology-National Electrical Manufacturers Association lo standard DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine), introdotto appositamente per l'interscambio di immagini mediche (ecocardiografia, angiografia, risonanza magnetica nucleare, tomografia computerizzata, ecc.). Nel 2004 si può affermare che il necessario per costruire un laboratorio digitale sia a disposizione di tutti sia in termini di validazione scientifica che commerciali: 1) uno o più ecografi digitali dotati di uscita DICOM di rete, 2) un server DICOM centrale per l'archiviazione, 3) una o più stazioni di lettura/refertazione, e 4) un'infrastruttura di rete per la connessione dei diversi elementi.

A tal fine presentiamo nel suddetto lavoro i principi tecnologici, gli aspetti organizzativi e la nostra esperienza di un laboratorio di ecocardiografia di terzo livello completamente digitale.

Parole chiave: Ecocardiografia; Laboratorio digitale di ecocardiografia.

Bibliografia

1. Segar DS, Skolnick D, Sawada SG, et al. A comparison of the interpretation of digitized and videotape recorded echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 714-9.
2. Thomas JD, Greenberg NL, Garcia MJ. Digital echocardiography 2002: now is the time. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 831-8.
3. Badano LP, Di Chiara A, Werren M, Sabbadini C, Fioretti PM. La rivoluzione digitale nel laboratorio di ecocardiografia. Stato attuale e prospettive future. *Ital Heart J Suppl* 2000; 1: 1561-75.
4. Crawford MH. Perspectives in exercise echocardiography: the role of digital acquisition and storage of images. *Coron Artery Dis* 1991; 2: 531-5.
5. Feigenbaum H. Digital recording, display, and storage of echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1988; 1: 378-83.
6. Badano LP, Nicolosi GL. Proposed tools for quality assurance in echocardiography. *G Ital Cardiol* 1999; 29: 1517-25.
7. Dall'Armellina E, Badano LP, Bordin P, et al. Fattibilità e valutazione dell'efficacia dell'archiviazione digitale delle immagini ecocardiografiche. (abstr) *Ital Heart J* 2000; 1 (Suppl 1): 120S.
8. Karson TH, Zepp RC, Chandra S, Morehead A, Thomas JD. Digital storage of echocardiograms offers superior image quality to analog storage, even with 20:1 digital compression: results of the Digital Echo Record Access Study. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 769-78.
9. Thomas JD. The DICOM Image Formatting Standard: what it means for echocardiographers. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; 8: 319-27.
10. Waitz AS. An echocardiographer's guide to determining whether DICOM disk interchange can be achieved between two systems. In: Kennedy TE, Simon R, Thomas JD, Tilke-meier PL, eds. *Digital cardiac imaging in the 21st century: a primer*. Bethesda, MD: Cardiac and Vascular Information Working Group of DICOM, 1997: 138-45.