
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

TITOLO DELL'ELABORATO

LA TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA DI ULTIMA GENERAZIONE PER
INDAGINI DIAGNOSTICHE DELLE ARTERIE CORONARIE

Elaborato in

Ingegneria Clinica

Relatore

Prof. Claudio Lamberti

Presentato da

Camilla Ferrara

Anno Accademico 2017-2018

*Alla mia famiglia
a cui devo tutto*

Indice

Introduzione	1
1 Il sistema cardiovascolare	3
1.1 Il cuore	3
1.2 I vasi sanguigni	5
1.3 Il sangue	7
1.4 Circolazione polmonare.....	8
1.5 Circolazione sistemica.....	8
1.6 Il circolo coronarico	9
2 Coronaropatie	11
2.1 Cause e conseguenze.....	11
2.2 Fattori di rischio	12
2.3 Approccio terapeutico.....	12
3 Diagnosi di coronaropatie	16
3.1 Coronarografia	16
4 Tomografia computerizzata	18
4.1 Principio di funzionamento	18
4.2 Ricostruzione dell'immagine.....	20
4.3 Apparecchiatura TC	23
4.4 Evoluzione dell'apparecchiatura TC	24
5 Principali vantaggi nell'uso di Revolution CT, FFR-CT e PCT....	36
5.1 Significato prognostico delle caratteristiche della placca coronarica rilevate con agio-TC	37

5.2	Prestazioni diagnostiche dell'angiografia coronarica CT eseguita con copertura cardiaca completa in pazienti con alta frequenza cardiaca .	38
5.3	Qualità dell'immagine e dose di radiazioni dell'angiografia coronarica CT eseguita con scanner CT a copertura cardiaca completa in pazienti con fibrillazione atriale.....	40
5.4	Valore diagnostico della CTP con scanner CT a copertura cardiaca completa in pazienti sintomatici a rischio intermedio e ad alto rischio sospettati di malattia coronarica.	41
	Conclusioni.....	43
	Bibliografia.....	44
	Sitografia.....	46

Introduzione

In questo lavoro di tesi mi sono soffermata sullo studio delle caratteristiche della tecnologia TC col fine di valutare se essa possa costituire un valido strumento di diagnosi in caso di sospette malattie delle coronarie. Tali patologie interessano un numero sempre crescente di pazienti e risultano estremamente pericolose in quanto, se non trattate, possono portare all'infarto del miocardio. Per tale ragione è fondamentale adottare un metodo diagnostico non solo efficace ma anche poco dannoso per il paziente e che possa essere impiegato in sostituzione alle procedure di angiografia, le quali, seppur efficienti, risultano estremamente invasive.

In particolare, ho preso in considerazione i recenti studi effettuati presso il Centro Cardiologico Monzino di Milano il quale, a partire dall'anno 2015, ha preso in dotazione l'apparecchiatura TC di ultima generazione, denominata Revolution CT. A seguito di questa acquisizione i cardiologi del Monzino si sono impegnati nel condurre numerosi test clinici col fine di valutare l'efficacia di questa nuova tecnologia. L'analisi dei dati raccolti è stata svolta prendendo in considerazione i risultati che tali esperimenti hanno prodotto in termini di qualità dell'immagine e dose per il paziente.

Più nel dettaglio la tesi si articola in cinque capitoli: nel primo capitolo viene introdotto il sistema cardiovascolare con particolare riferimento all'anatomia e alle principali funzionalità del circolo coronarico; il capitolo successivo si sofferma invece sull'introduzione delle principali coronaropatie, evidenziandone le cause e i fattori di rischio. Il terzo capitolo espone i test diagnostici a cui il paziente viene sottoposto in caso di sospetta malattia delle coronarie, mentre nel quarto capitolo viene introdotta la tecnologia TC, mettendo in evidenza il principio di

funzionamento e presentando i più recenti sviluppi di questa apparecchiatura.

Infine, nell'ultimo capitolo, vengono analizzati i risultati ottenuti dai test condotti al centro cardiologico Monzino, col fine di validare l'impiego della tecnologia TC in caso di coronaropatie.

1 Il sistema cardiovascolare

Il sistema cardiovascolare è costituito dal cuore, che agisce come una pompa muscolare, da un sistema di canali di vario calibro, ovvero i vasi sanguigni, e dal sangue. La rete di vasi sanguigni si compone di una serie di condotti attraverso cui il sangue viene pompato in tutto il corpo al fine di trasportare e trasferire da un tessuto all'altro gas respiratori, nutrienti, prodotti di scarto, ormoni, cellule e molecole del sistema immunitario.

L'apparato cardiovascolare è un sistema chiuso che consente al sangue di muoversi solo all'interno dei vasi senza entrare mai in contatto diretto con il fluido interstiziale.

1.1 Il cuore

Il cuore è un organo muscolare cavo posto all'interno della cavità toracica, nel mediastino anteriore. Costituito quasi esclusivamente da tessuto muscolare striato, esso è circondato da un sacco fibroso che prende il nome di pericardio, che lo fissa al diaframma isolandolo al contempo dagli organi circostanti.

La parete del cuore è costituita da tre strati che si susseguono dalla superficie alla profondità:

- epicardio
- miocardio
- endocardio

L'epicardio riveste tutta la superficie esterna del cuore e, per un certo tratto, prosegue sulla radice dei grossi vasi. Profondamente uno strato

connettivale congiunge l'epicardio al miocardio, che rappresenta lo strato più spesso della parete cardiaca ed è costituito da lamine di tessuto muscolare cardiaco, ordinatamente orientate in modo da consentire una corretta contrazione. Infine, l'endocardio costituisce un rivestimento protettivo formato da cellule endoteliali e ha la funzione di favorire lo scorrimento del sangue all'interno del cuore per evitarne la coagulazione.

Il cuore è costituito da due pompe muscolari intermittenti, cuore destro e cuore sinistro. Ciascuna pompa, a sua volta, si compone di due camere contrattili: l'atrio, posto superiormente, che ha una parete più sottile; e il ventricolo, posto più in basso e ha parete più spessa.

Ogni atrio comunica col ventricolo sottostante per mezzo di valvole cardiache, in particolare valvola tricuspide a destra e valvola mitrale a sinistra.

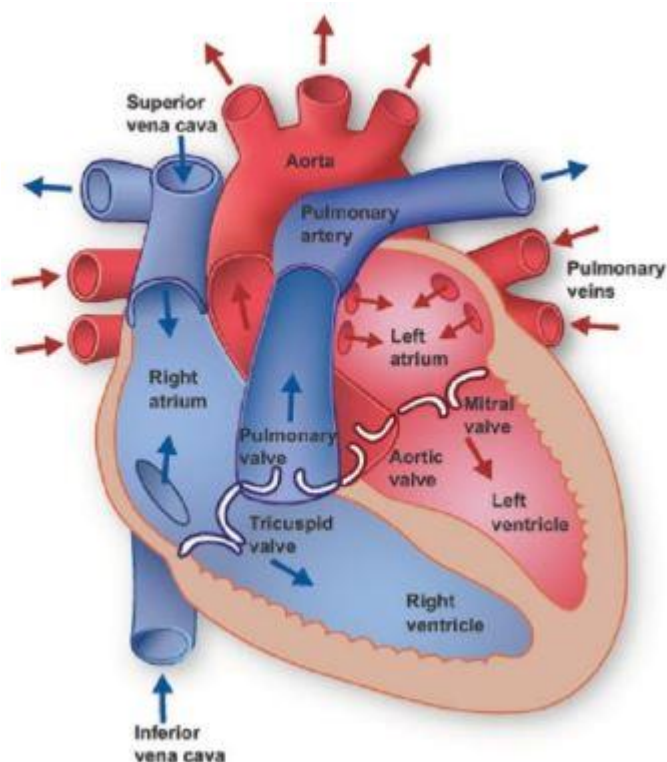


Figura 1 - Il cuore

Vi sono inoltre orifizi che collegano le cavità ventricolari con i vasi efferenti

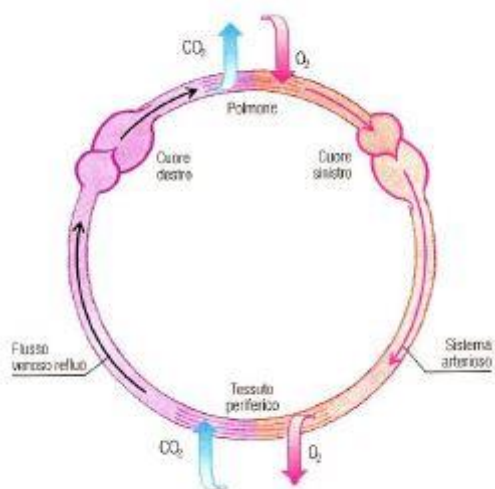


Figura 2 - La circolazione sanguigna

in modo da impedire il reflusso sanguigno: la valvola semilunare polmonare, che connette il ventricolo destro all'arteria polmonare, e la valvola semilunare aortica che mette in comunicazione il ventricolo sinistro con l'aorta. Il sangue è costretto dunque a seguire un percorso chiuso nel senso imposto da valvole a una via presenti nel cuore e nelle vene. Schematicamente le

due pompe cardiache spingono il sangue in due sistemi di vasi disposti in serie tra loro: il circolo polmonare (piccolo circolo), e il circolo sistemico (grande circolo). Il primo è alimentato dal ventricolo destro ed ha la funzione di mettere in contatto il sangue venoso con l'aria alveolare in modo da consentire gli scambi gassosi. Il secondo, alimentato dal ventricolo sinistro, ha la funzione di portare il sangue ossigenato a tutti i tessuti.

1.2 I vasi sanguigni

I vasi sanguigni sono strutture che permettono il trasporto del sangue nell'organismo e che possono essere classificati in arterie, vene e capillari. Essi hanno una grandissima variabilità di struttura dovuta sia alle diverse funzioni che alla loro posizione. È possibile descrivere in generale la struttura della parete di un vaso sanguigno distinguendo tre strati, detti tonache.

- Tonaca intima: è lo strato più interno costituito da endotelio e strato sottoendoteliale. L'endotelio è in grado di assorbire materiale dai fluidi e di consentire il passaggio di cellule dal lume ai tessuti.
- Tonaca media: la prevalenza del tipo di tessuto che la compone è strettamente connessa alla struttura in cui si trova. La prevalenza di fibre muscolari consente la progressione del sangue grazie alla loro contrazione; la prevalenza di fibre elastiche è caratteristica delle grosse arterie mentre quella fibrosa è tipica delle vene e sfrutta la forza di gravità per promuovere la progressione del sangue.
- Tonaca avventizia: costituisce l'avvolgimento esterno del vaso ed è formata principalmente da tessuto connettivo denso. Essendo all'esterno, stabilisce i rapporti tra il vaso e l'ambiente circostante e può contenere sia fibre elastiche che muscolari.

Le arterie sono vasi che nascono dai ventricoli e trasportano sangue ossigenato a tutto il corpo, ad eccezione dell'arteria polmonare che nasce dal ventricolo destro e porta il sangue, poco ossigenato, ai polmoni. Il sistema arterioso rappresenta la parte del sistema circolatorio ad alta pressione. La pressione arteriosa varia, raggiungendo il picco massimo quando il cuore si contrae (pressione sistolica), e quello minimo quando il cuore si espande (pressione diastolica). Inoltre, le arterie divengono sempre più piccole man mano che ci si allontana dal cuore, restringendosi prima a formare le arteriole e poi i capillari arteriosi, in cui avviene lo scambio con l'anidride carbonica presente nei capillari venosi. Le vene sono vasi sanguigni che, ad eccezione delle vene polmonari, trasportano il sangue ricco di anidride carbonica ai polmoni, e sostanze di rifiuto al fegato e ai reni per la depurazione. Hanno pareti meno spesse di quelle delle arterie poiché la pressione del sangue è meno elevata. Le vene più grandi del corpo umano sono le vene cave che, assieme alle altre

vene, si diramano in vene di medio calibro e infine in capillari venosi, costituendo il sistema venoso. I capillari hanno dimensioni microscopiche e, posti tra le cellule, permettono gli scambi tra il sangue e i tessuti andando a costituire il sistema della microcircolazione sanguigna.

1.3 Il sangue

Il sangue è un tessuto connettivo fluido di colore variabile a seconda della quantità di ossigeno presente, caratterizzato da una viscosità circa quattro volte superiore a quella dell'acqua. Esso si compone al 55% di una parte liquida, il plasma, e per il 45% da una parte corpuscolata costituita da cellule o frammenti di esse.

Il plasma è un liquido giallastro composto al 90% da acqua e, per il restante 10%, da sostanze organiche, sali disciolti e proteine. La proteina maggiormente presente è l'albumina (60%) che mantiene la pressione osmotica costante, numerose sono anche le globuline (35%) le quali garantiscono il trasporto di ormoni e lipidi. Infine, il fibrinogeno (5%) svolge l'importante funzione di garantire la coagulazione sanguigna. Per quanto concerne gli elementi corpuscolati, essi sono principalmente di tre tipi.

- Globuli rossi (eritrociti): sono cellule senza nucleo che, nell'uomo adulto, raggiungono i 5 milioni. Dalla forma di un disco biconcavo sono deputati al trasporto di ossigeno che si lega ad una proteina detta emoglobina.
- Globuli bianchi (leucociti): sono cellule nucleate, più grandi ma meno numerose rispetto ai globuli rossi. La funzione principale svolta dai leucociti è difendere l'organismo dagli attacchi di agenti patogeni come batteri e virus.

- Piastrine (trombociti): non si tratta di vere e proprie cellule bensì di frammenti di cellule più grandi, dette megacariociti, prodotte dal midollo osseo. Le piastrine svolgono un ruolo essenziale nell'emostasi ovvero nell'arrestare la fuoriuscita di sangue dai vasi in seguito ad una lesione.

1.4 Circolazione polmonare

Il sangue venoso, povero di ossigeno, entra nell'atrio destro dalle due vene maggiori: vena cava inferiore e vena cava superiore, quindi fluisce nel ventricolo destro attraverso la valvola tricuspide. Il ventricolo, le cui pareti sono costituite prevalentemente da tessuto muscolare, riceve il sangue in una fase di rilassamento detta diastole la quale è seguita da una fase di contrazione che prende il nome di sistole in cui il sangue viene spinto fuori dal ventricolo nell'arteria polmonare. Raggiunti i polmoni avviene lo scambio di gas grazie al quale aumenta il contenuto di ossigeno nel sangue e diminuisce quello di anidride carbonica. Il sangue ossigenato, attraverso le vene polmonari, ritorna al cuore nell'atrio sinistro e quindi nel ventricolo sinistro.

1.5 Circolazione sistemica

Il ventricolo sinistro si contrae simultaneamente a quello destro eiettando lo stesso volume di sangue, ma ad una pressione molto più alta. Il sangue fluisce dunque attraverso l'aorta e le successive ramificazioni del sistema arterioso fino ai capillari. Qui i gas e le sostanze nutritive diffondono nei

tessuti circostanti e, attraverso il sistema venoso, il sangue viene condotto nuovamente nell'atrio destro.

1.6 Il circolo coronarico

La circolazione coronarica è costituita da vasi deputati all'irrorazione e al nutrimento del cuore, cui forniscono una quantità di sangue adeguata alle richieste metaboliche.

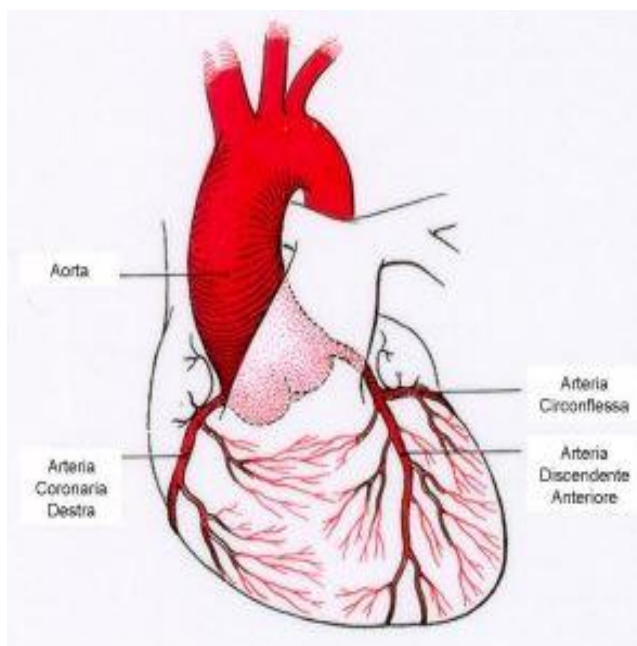


Figura 3 - Il circolo coronarico

Questi vasi, il cui diametro può variare dai 3 ai 5mm, sono detti arterie coronarie a causa della particolare distribuzione che assumono intorno al muscolo cardiaco, che circondano componendo una sorta di corona arteriosa. Nonostante la precisa anatomia del circolo coronarico vari notevolmente da persona a persona, è possibile distinguere

due arterie coronarie principali: l'arteria coronaria sinistra e l'arteria coronaria destra, le quali originano entrambe dalla aorta ascendente appena al di sopra della valvola aortica o semilunare. In particolare, l'arteria coronaria sinistra origina dal seno aortico sinistro e si divide in due grossi rami: il ramo discendente anteriore e il ramo discendente circonflesso. Questo vaso va ad irrorare principalmente l'atrio sinistro, il ventricolo sinistro e la parte anteriore del setto. L'arteria coronaria destra origina dal seno aortico destro e resta quasi del tutto indivisa lungo il suo decorso a parte per i rami collaterali a cui dà origine tra cui l'arteria infundibolare, l'arteria interventricolare posteriore e i rami ventricolari,

atrioventricolari e atriali. Essa irroro l'atrio destro, il ventricolo destro e la parte posteriore del setto interventricolare.

Le arterie coronarie che decorrono sulla superficie esterna del cuore sono dette arterie coronarie epicardiche mentre i rami collaterali che penetrano in profondità sono chiamati arterie coronarie endocardiche. Sebbene la distribuzione periferica delle coronarie sia essenzialmente di tipo terminale, tra le varie terminazioni possono essere presenti piccoli ponti detti anastomosi che, in presenza di stenosi, possono amplificarsi fino a costituire veri e propri circoli collaterali.

2 Coronaropatie

2.1 Cause e conseguenze

Le patologie delle coronarie rientrano nel più ampio gruppo delle patologie cardiovascolari e contribuiscono ancora oggi a renderle la principale causa di morte al mondo. Esse sono anche dette coronaropatie e sono dovute prevalentemente all'accumulo di depositi di grassi come il colesterolo o di coaguli di sangue che portano ad un restringimento del lume del vaso. Tali restringimenti prendono il nome di stenosi e il processo attraverso cui si formano è detto arteriosclerosi e può interessare tutte le arterie e non solo le coronarie. Nelle arterie affette da arteriosclerosi possono formarsi delle placche dette ateromi costituite da grassi, proteine e tessuto fibroso. La crescita dell'ateroma ne può determinare la sporgenza nella parete arteriosa con la conseguente riduzione del lume dell'arteria e parziale ostruzione del flusso ematico. Col passare del tempo, l'ateroma ostruisce sempre più la coronaria e l'apporto di sangue ossigenato al muscolo cardiaco può divenire insufficiente, determinando la condizione patologica nota come ischemia miocardica.

Inoltre, l'ateroma, anche se il grado di ostruzione del vaso non è elevato, può rompersi bruscamente causando la formazione di un trombo ovvero di un coagulo di sangue. Tale coagulo restringe ulteriormente il vaso fino ad ostruirlo completamente, dando luogo ad un'ischemia miocardica acuta. Questa patologia rientra nella definizione di sindrome coronarica acuta che comprende l'infarto del miocardio, ovvero la morte di un'area di tessuto cardiaco in seguito alla interruzione prolungata dell'apporto sanguigno.

2.2 Fattori di rischio

I fattori che possono portare all'insorgere di patologie delle coronarie sono molteplici e si dividono in modificabili e non modificabili.

Fattori di rischio non modificabili

- progredire dell'età
- sesso maschile
- anamnesi familiare di coronaropatia precoce

Fattori di rischio modificabili

- alti livelli ematici di colesterolo
- diabete mellito
- fumo
- obesità
- sedentarietà
- pressione arteriosa elevata

2.3 Approccio terapeutico

Nei soggetti affetti da coronaropatia l'approccio terapeutico può basarsi su diverse strategie finalizzate a ridurre il carico di lavoro del cuore, migliorare il flusso sanguigno nelle arterie coronarie e indurre la regressione del processo arteriosclerotico. Il carico di lavoro del cuore può essere ridotto

tenendo sotto controllo la pressione arteriosa e somministrando farmaci, come i beta-bloccanti, che impediscono un'accelerazione della funzione di pompaggio cardiaco. Il flusso ematico viene invece migliorato mediante farmaci che promuovono il rilassamento delle arterie coronarie, attraverso l'allargamento delle arterie stenotiche e mediante un intervento coronarico percutaneo (ICP) oppure, nei casi più gravi, mediante un intervento di bypass delle coronarie (CABG), che consente di evitare le ostruzioni. Nei casi in cui il restringimento del vaso sia dovuto alla presenza di un trombo, questo può essere disciolto con un trattamento farmacologico evitando di conseguenza interventi invasivi. Infine, la regressione del processo arteriosclerotico, è possibile praticando attività fisica e modificando la dieta.

IGP - Intervento Coronarico Percutaneo

Questo intervento, che prende il nome di angioplastica coronarica transluminale percutanea, consiste nel dilatare un tratto dell'arteria che presenta la stenosi mediante un catetere che monta in punta un palloncino. Tale procedura, che può essere ripetuta più volte in caso di insuccesso, viene effettuata in anestesia locale praticando una piccola incisione sulla coscia in modo tale da poter accedere all'arteria femorale. In essa viene inserito un filo guida metallico che viene fatto avanzare fino al sito dell'ostruzione. Un catetere con un palloncino sgonfio si sposta lungo il filo guida e, raggiunto il tratto di vaso stenotico, viene gonfiato in modo da dilatare il lume dell'arteria comprimendo l'ateroma sulle pareti del vaso.

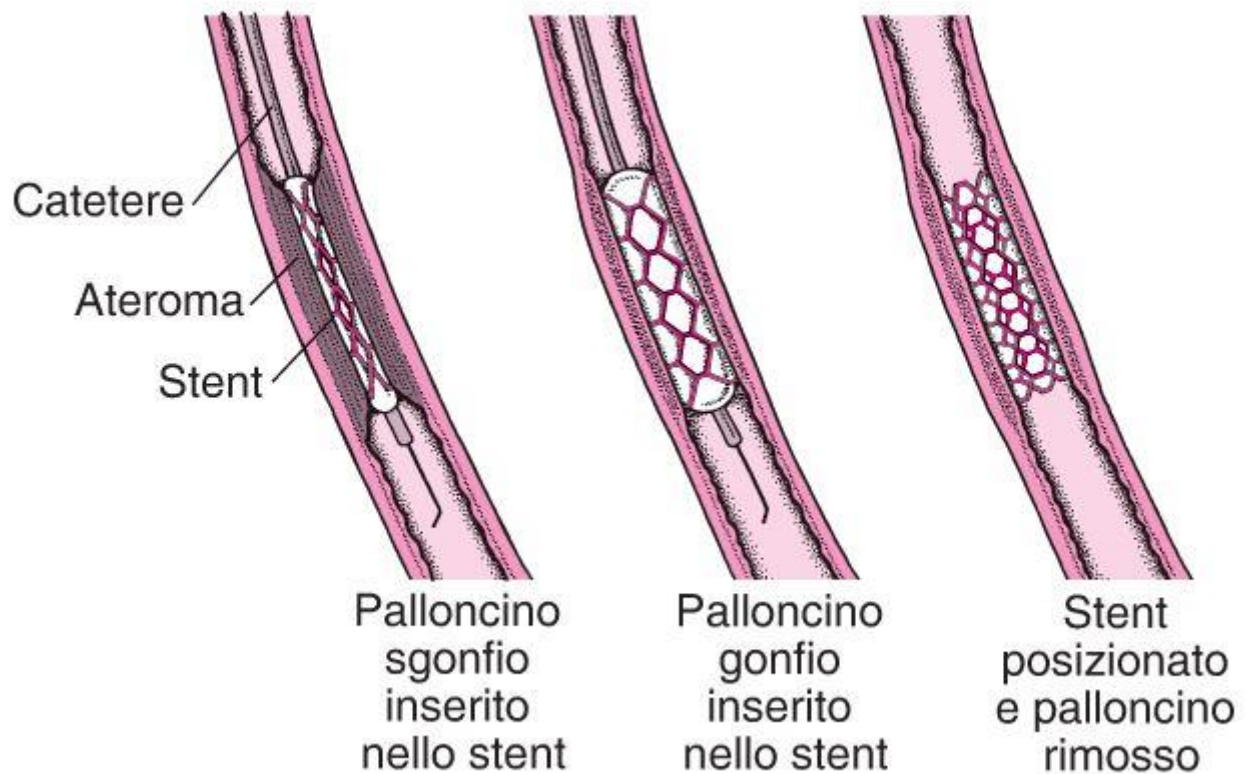


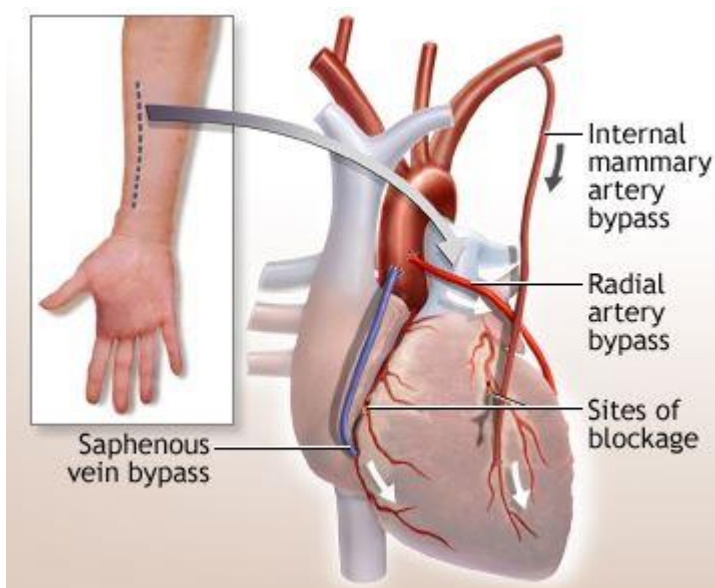
Figura 4 - Angiografia coronarica

Spesso durante l'angioplastica, nel sito dell'ostruzione, viene anche inserito uno stent per evitare che l'arteria si chiuda nuovamente. Lo stent è una struttura metallica cilindrica a maglie che viene posta attorno al catetere a palloncino sgonfio. Quando il catetere è in prossimità dell'ostruzione il palloncino viene gonfiato facendo sì che lo stent, aprendosi, aderisca alla parete arteriosa. Lo stent può essere rivestito da un farmaco che viene lentamente rilasciato con il fine di prevenire una nuova ostruzione della coronaria, tuttavia, i pazienti con questo tipo di stent presentano un rischio lievemente superiore di sviluppare un coagulo di sangue all'interno dello stent stesso per cui vengono sottoposti a terapia antiplastrinica per almeno un anno dopo l'intervento col fine di ridurre al minimo il rischio di formazioni trombotiche.

L'intervento coronarico percutaneo viene solitamente preferito all'intervento di bypass coronarico poiché meno invasivo e caratterizzato da un periodo di recupero più breve. Tuttavia, è possibile che l'area coronarica interessata non sia adatta all'esecuzione di una angioplastica per la sede, la lunghezza o altri fattori relativi all'ostruzione. Inoltre, pazienti con varie aree stenotiche possono sopravvivere più a lungo in seguito ad un intervento di CABG piuttosto che di ICP.

CABG – Coronary Artery Bypass Graft

L'innesto di bypass di arteria coronaria è una procedura comunemente eseguita per deviare il flusso ematico attorno ad un'arteria coronaria ostruita. Durante questo intervento, nella maggior parte dei casi, il cuore viene fermato e una macchina cuore-polmoni si sostituisce ad esso. L'intervento di bypass può essere eseguito anche senza fermare il cuore, applicando una banda elastica attorno all'arteria per bloccarne il flusso ematico. Questa procedura viene effettuata in anestesia generale operando una incisione al centro del torace e consiste nel prelevare un



segmento di vaso sanguigno da un'altra parte del corpo, solitamente da un braccio o da una gamba, e nel collegarne le estremità all'arteria, prima e dopo l'ostruzione, in modo da far deviare il flusso di sangue intorno all'arteria coronarica chiusa.

Figura 5 - Bypass aorto-coronarico

3 Diagnosi di coronaropatie

La diagnosi di una coronaropatia viene effettuata dal medico e si basa principalmente sui sintomi che vengono riportati dal paziente come dolore al torace, battito cardiaco accelerato, sensazione di stanchezza eccessiva, nausea e vertigini. Successivamente viene analizzata la storia medica del paziente e si effettua una valutazione dei principali fattori di rischio. Infine, per confermare la presenza di una coronaropatia, è necessario ricorrere ad alcuni test diagnostici i quali possono essere o meno invasivi.

3.1 Coronarografia

La coronarografia, o angiografia coronarica, è un esame diagnostico che consente di valutare la funzionalità cardiaca.

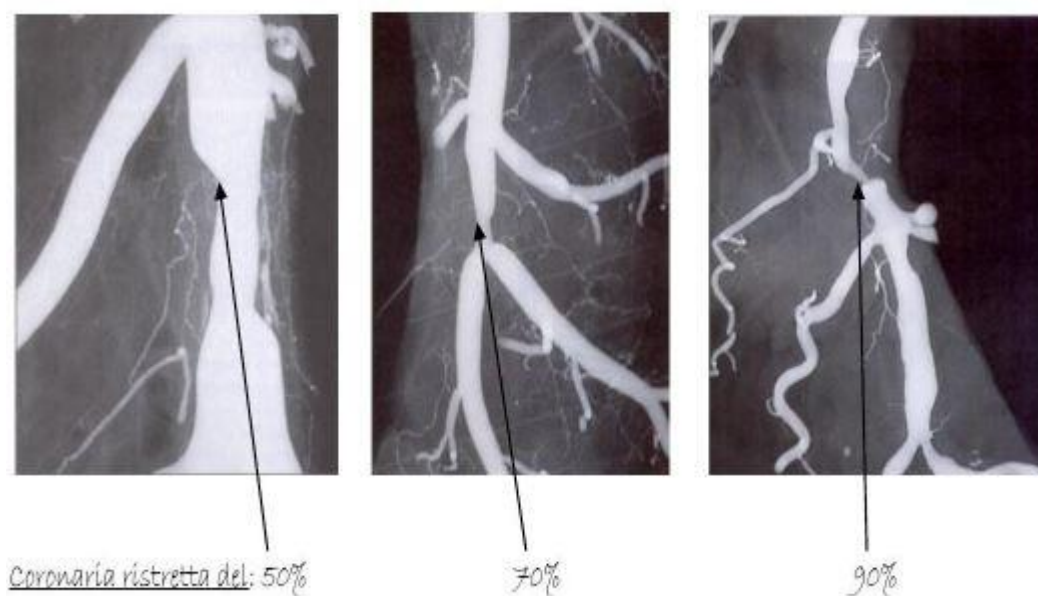


Figura 6 - Coronarografia

Essa permette infatti di individuare, ed eventualmente trattare, stenosi clinicamente significative, ovvero che ostruiscono il lume vascolare per più del 70%, responsabili della comparsa della sintomatologia ischemica. Si

tratta di una procedura diagnostica di tipo radiologico, eseguita mediante l'introduzione di un catetere, generalmente dall'arteria femorale, che viene posizionato all'imbocco della coronaria. Successivamente si inietta il mezzo di contrasto iodato così da opacizzare completamente il decorso dell'arteria stessa e permettere la visualizzazione di eventuali ostruzioni.

Questa indagine viene eseguita principalmente con due finalità:

1. Diagnostica: mediante mezzo di contrasto ed emissione di radiazioni ionizzanti è infatti possibile studiare il circolo coronarico, con l'obiettivo di individuare anomalie cardiache oppure ostruzioni;
2. Terapeutica: attraverso l'utilizzo di opportuni cateteri e stent è possibile provvedere alla disostruzione delle coronarie occluse, con l'obiettivo di ripristinare una corretta perfusione del cuore.

L'angiografia coronarica è considerata un esame invasivo a causa dell'inserimento del catetere, dell'iniezione del mezzo di contrasto e dell'uso di radiazioni ionizzanti. Inoltre, come ogni procedura di cateterismo cardiaco, può comportare diversi rischi o complicazioni quali reazioni allergiche al mezzo di contrasto, danno renale, lesione della parete delle arterie, infezioni a carico delle ferite e, molto più raramente, ictus o infarto. Per queste ragioni è un esame che viene praticato solo se strettamente necessario in seguito all'esecuzione di test diagnostici meno invasivi come la tomografia computerizzata coronarica.

4 Tomografia computerizzata

La tomografia computerizzata è una tecnica di imaging che nasce con lo scopo di superare i principali limiti della radiologia convenzionale. Le immagini radiografiche forniscono infatti proiezioni bidimensionali di strutture tridimensionali, determinando perdita di informazioni in profondità e non consentendo il rilevamento di molte anomalie. Inoltre, in radiologia convenzionale, risulta estremamente difficile riuscire a distinguere i tessuti molli. La tecnologia TC nasce come T.A.C ovvero tomografia assiale computerizzata, e rappresenta la prima tecnica di radiologia digitale.

4.1 Principio di funzionamento

La tomografia computerizzata è una tecnica diagnostica che sfrutta radiazioni ionizzanti per ottenere immagini dettagliate di aree specifiche dell'organismo, con o senza l'impiego di un mezzo di contrasto che, ove presente, viene iniettato endovena. Come per le tecniche radiologiche convenzionali l'informazione ha origine dalla misura dell'attenuazione subita dai raggi X nell'attraversare i tessuti del corpo con diversa densità. La radiazione uscente dal corpo viene raccolta da una serie di rilevatori posizionati di fronte al tubo radiogeno. L'immagine così ottenuta è un'immagine digitale che rappresenta una sottile sezione trasversale del corpo, riprodotta mediante la misurazione dell'attenuazione di un fascio di raggi X, che viene fatto ruotare in diverse traiettorie attraverso lo strato corporeo in studio. Tale misurazione è basata su un parametro detto CT number il quale fornisce una misura del coefficiente di attenuazione lineare del mezzo, normalizzata al coefficiente di attenuazione lineare dell'acqua, ed è così definito:

$$CT = K \frac{\mu - \mu_{acqua}}{\mu_{acqua}}$$

μ = coeff. di attenuazione lineare del mezzo, a 73 KeV di dosaggio
 μ_{acqua} = coeff. di attenuazione dell'acqua, a 73 KeV di dosaggio
 K = costante, pari a 1000

I CT number dei tessuti sono posti in un'apposita scala denominata scala Hounsfield, dal nome dell'ingegnere britannico che per primo realizzò l'apparecchiatura TC.

Essa rappresenta una scala di unità di misura utilizzata per descrivere quantitativamente la radiodensità dei tessuti e che riporta, come valore di riferimento, il CT number dell'acqua e, a valori prossimi allo zero, alcuni tessuti patologici.

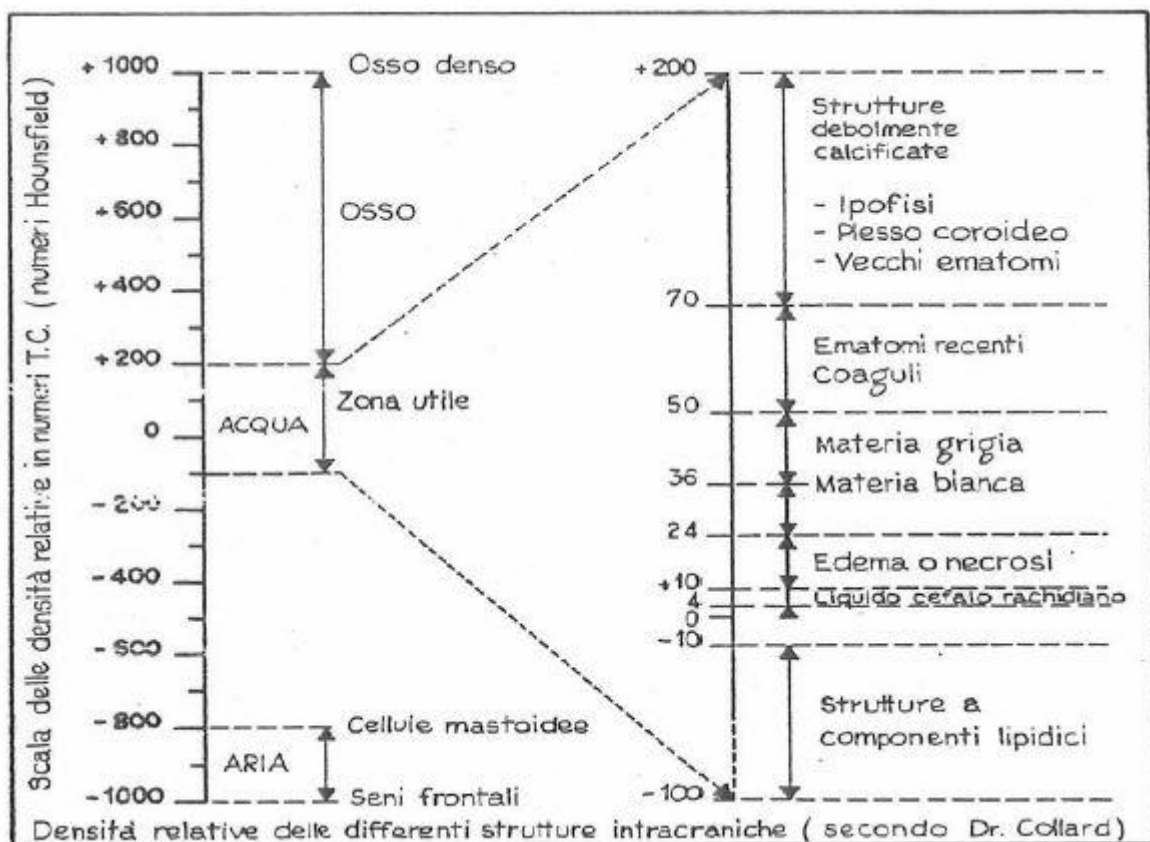


Figura 7 - Scala Hounsfield

4.2 Ricostruzione dell'immagine

Il volume indagato prende il nome di campo di scansione e, trattandosi di una indagine tomografica, è definito da un certo numero di fette ognuna delle quali risulta divisa in elementi di volume detti voxel. Ad ognuno dei voxel corrisponderà un pixel dell'immagine ricostruita, a cui viene assegnato un diverso livello di grigio in funzione dell'effetto di attenuazione medio di tutte le sostanze contenute nell'elemento di volume corrispondente. Tuttavia, la determinazione dei singoli coefficienti non è univoca perciò, nonostante il contenuto informativo dell'immagine sia legato all'attenuazione dei raggi X nei diversi tessuti, ad essere rappresentati nell'immagine non sono i coefficienti di attenuazione lineare bensì la distribuzione dei CT number. Poiché l'occhio umano non può distinguere più di 40 livelli di grigio, ogni livello dovrebbe rappresentare 50 numeri della scala, limitando la capacità della TAC a rilevare variazioni di contrasto del 5% contro la possibilità intrinseca dello 0.5%. Per questa ragione ogni immagine può essere rappresentata selezionando un intervallo parziale di CT number, un valore centrale di riferimento, detto livello, e un'ampiezza di finestra tale da evidenziare al meglio le strutture che si vogliono indagare. In questo modo si può sfruttare al meglio la capacità della TAC di differenziare i tessuti molli, i cui valori di coefficiente di attenuazione lineare variano in un range molto piccolo. Il processo di elaborazione per determinare i CT number è lungo e laborioso. Per prima cosa, i dati generati e prelevati dai rivelatori sono grandezze analogiche per cui non direttamente utilizzabili dal computer, per questo motivo vengono processati e portati in formato digitale. I dati digitali vengono poi

espressi in unità Hounsfield (HU), mediante calibrazione rispetto a sostanze a CT number noto. La ricostruzione vera e propria dell'immagine può avvenire impiegando diversi algoritmi di cui si riportano i principali.

- Metodo di inversione della matrice

Condiziona la risoluzione di un sistema di equazioni ed è una procedura molto lenta poiché richiede un numero di equazioni maggiore rispetto al numero dei pixel. Inoltre, occorre a posteriori eliminare errori derivanti da artefatti da movimento e dal fenomeno di "indurimento" delle radiazioni che, nonostante l'impiego di filtri, non è mai perfettamente monocromatica.

- Metodi iterativi

Impiegati nelle prime TAC, determinano i valori dei pixel attraverso approssimazioni successive partendo da valori assegnati in modo arbitrario che vengono confrontati con misurazioni effettive. Iterando il processo per ogni proiezione si ottiene l'immagine finale. Anche questa procedura risulta piuttosto lenta e può essere intrapresa solo al termine dell'acquisizione dei dati.

- Algoritmo della convoluzione lineare (Filtered Back-Projection)

Questo algoritmo sfrutta i concetti matematici di serie e trasformata di Fourier. La "Back-Projection" consiste nel retroproiettare ciascun profilo radiologico secondo la direzione di scansione e, per ogni pixel dell'immagine, sommare i contributi derivanti dalla retroproiezione di tutti i profili radiologici. Lo svantaggio principale di tale procedura è che, tanto minore è il numero delle proiezioni

acquisite e retroproiettate, tanto maggiore sarà l'entità di rumori che causano chiarori e deformazioni locali nell'immagine, denominati artefatti a stella.

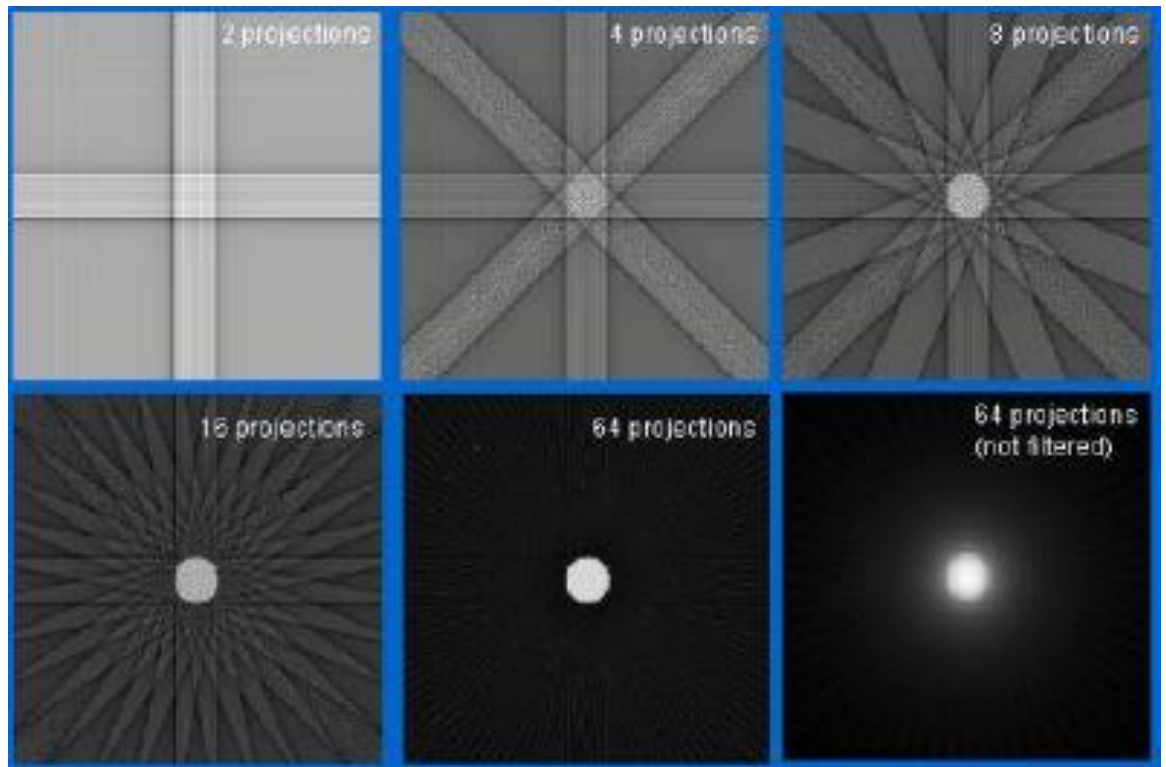


Figura 8 - Artefatti a stella

Dal punto di vista dell'analisi di Fourier, gli artefatti a stella corrispondono ad una perdita del contributo delle alte frequenze per cui non consentono di visualizzare correttamente i dettagli e i contorni dell'immagine. Per queste ragioni si predilige la "Filtered Back-Projection" in cui viene aggiunto un filtraggio, effettuato mediante convoluzione. Sfruttando l'algoritmo di convoluzione lineare è possibile ottenere una ricostruzione più esatta dell'immagine in quanto ciascuna proiezione viene opportunamente corretta prima di essere retroproiettata. Così facendo le componenti responsabili della presenza di artefatti a stella si annullano nella somma finale. Questo metodo di ricostruzione consente di utilizzare filtri diversi a seconda che l'esame sia basato sulla ricerca di piccoli dettagli

o di piccole differenze di densità. Inoltre, un altro grande vantaggio, è la possibilità di applicare l'algoritmo in tempo reale così che la ricostruzione avvenga di pari passo con la scansione.

4.3 Apparecchiatura TC



Figura 9 - Classica apparecchiatura TC

Le apparecchiature TC sono costituite da diverse componenti e, nonostante gli incessanti processi di evoluzione, presentano tre parti principali: il gantry, il lettino portapaziente e la consolle di comando per l'acquisizione dei dati.

Gantry

Il gantry è una struttura circolare comprendente il sistema di irradiazione, il sistema di rilevamento e un grande foro centrale entro cui avanza il lettino portapaziente. In particolare, nel gantry sono contenuti:

- tubo radiogeno
- collimatori

- detettori
- alimentatore
- sistema di raffreddamento

Letto portapaziente

Il letto portapaziente è supporto mobile su cui viene posizionato il paziente durante l'esecuzione dell'esame.

Consolle di comando per l'acquisizione dei dati

Solitamente comprende un computer che consente la visualizzazione delle immagini tridimensionali in tempo reale.

4.4 Evoluzione dell'apparecchiatura TC

Lo sviluppo di questa tecnologia è legato principalmente all'evoluzione di principi matematici, al progresso della tecnologia hardware e dei software di calcolo, visualizzazione e ricostruzione dell'immagine.

Questi elementi risultano infatti fondamentali nella riduzione dei tempi di scansione, nell'ottimizzazione dei dati, nel miglioramento della qualità dell'immagine e nella riduzione della dose di radiazioni a cui il paziente è sottoposto.

L'evoluzione delle apparecchiature TC ha portato ad una loro classificazione in generazioni, ciascuna delle quali si caratterizza per una diversa geometria del complesso tubo-detettori. Tale classificazione è di

tipo cronologico e prevede in totale quattro generazioni di apparecchiature di cui le prime due ormai in disuso. Alle quattro generazioni vengono aggiunte due nuove tecnologie che consentono acquisizioni volumetriche (TC a spirale e TC multistrato), e le apparecchiature di ultima generazione introdotte in Italia e in Europa nell'ultimo biennio (Revolution CT, FFR-CT e CT perfusion).

III Generazione

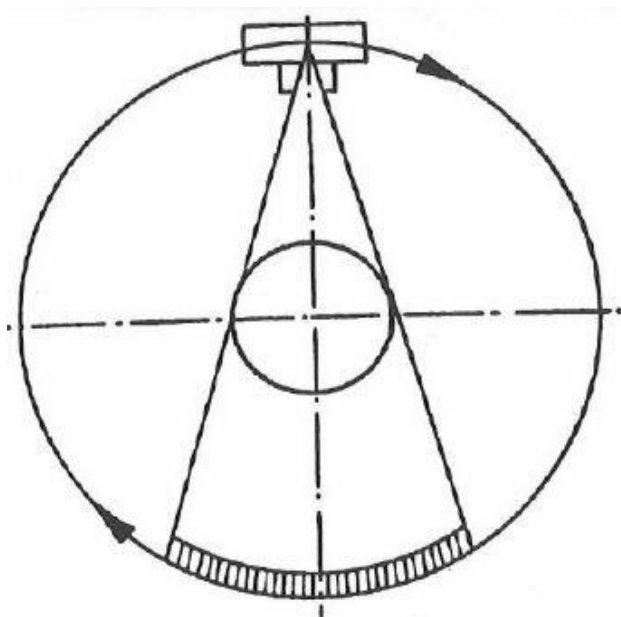


Figura 10 - Sistema tubo-detettori di una TC di III generazione

In questa generazione sono presenti da 300 a circa 800 detettori, disposti lungo un arco di circonferenza del foro del gantry, centrato sul fuoco del tubo, in posizione diametralmente opposta al tubo stesso. Il fascio di raggi X, di forma conica, viene aperto di un angolo di circa 50° riducendo il numero di rotazioni necessarie. Di conseguenza il movimento del

complesso tubo-detettori è esclusivamente rotazionale e copre un angolo di 360° consentendo di ridurre i tempi di acquisizione fino a 1,5 – 3,5 secondi.

Il numero dei rivelatori è un parametro di notevole importanza in quanto, affinché il numero di dati acquisiti sia ottimale, è necessario che essi coprano il campo più grande osservabile. Di conseguenza per i campi più piccoli verrà utilizzato un numero inferiore di detettori che si traduce in una riduzione dei dati acquisiti. Per risolvere questo problema si ricorre all'ingrandimento che consiste nell'avvicinare l'oggetto alla sorgente

allontanandolo al contempo dai detettori, in modo che il fascio investa tutti i campi, anche i più piccoli. Il principale difetto di questa generazione è la mancanza di una taratura automatica nel corso della scansione che può portare alla formazione di artefatti circolari.

IV Generazione

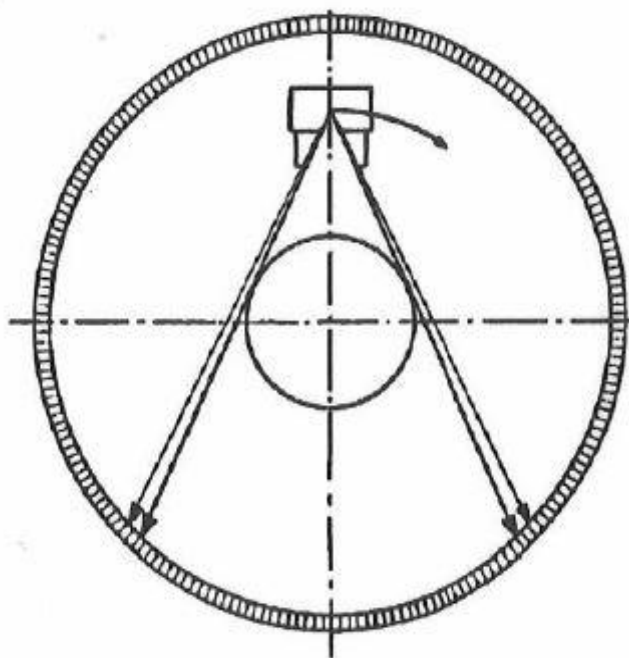


Figura 11 - Sistema tubo-detettori di una TC di IV generazione

Il numero di detettori viene ulteriormente aumentato fino a un massimo di 1000. I rivelatori sono disposti in maniera fissa fino a coprire l'intera circonferenza del foro del gantry, rendendo il loro movimento rotazionale superfluo. Pertanto, l'unico componente ancora in movimento, è il tubo radiogeno, che compie una rotazione di 360° emettendo un fascio a ventaglio dell'ampiezza di 40°-50°. Questa disposizione consente di ridurre i tempi di scansione che, per una singola fetta, variano da 1 a 2 secondi.

Ogni rivelatore viene automaticamente tarato durante la scansione semplicemente mantenendo il fascio più ampio dell'oggetto per cui apparecchiature di questa generazione offrono una buona precisione.

TC a spirale

È bene precisare che nella TAC l'acquisizione di strati successivi comportava, per ogni fetta, l'accelerazione fino a velocità costante del tubo, l'acquisizione per rotazione di 360°, la decelerazione fino al punto di partenza e lo spostamento del paziente in direzione assiale per poi ripetere il procedimento per la fetta successiva. Inoltre, il verso di rotazione del

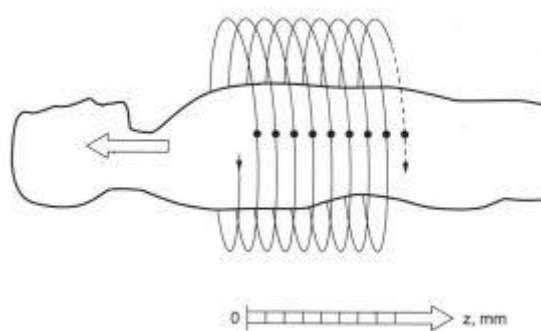


Figura 12 - Schema di una TC a spirale

sistema tubo-detettore viene invertito ad ogni fetta poiché, la presenza di cavi, consentiva una possibilità di corsa limitata.

La realizzazione di tomografi a spirale, sviluppati a partire dagli anni '90, è stata resa possibile grazie ad una nuova tecnologia di alimentazione del tubo radiogeno mediante contatti striscianti. Questi consentono una rotazione continua del tubo a raggi X ed una acquisizione più veloce dovuta all'eliminazione dei cavi di alimentazione. Il sistema tubo-detettori è collocato su un anello rotante all'interno del tunnel di scansione e ruota continuamente intorno al paziente.

Le immagini vengono acquisite contestualmente all'avanzamento del lettino portapaziente, generando una traiettoria elicoidale dei raggi in modo da ottenere informazioni relative ad un intero volume anatomico e non più riferite a singole sezioni. La relazione tra lo spessore dell'elica così ottenuta e l'avanzamento del lettino portapaziente è espressa da un parametro adimensionale detto pitch:

$$pitch = \frac{d_{lettino}}{d_{elica}}$$

Quando il pitch assume valore unitario, il passo del lettino portapaziente risulta ottimale evitando il fenomeno dell'overlapping e scongiurando il rischio di non scansionare alcune fette.

TC multistrato

L'apparecchiatura TC multistrato si basa sullo stesso principio della TC a spirale tuttavia, ad ogni giro del sistema tubo detettori, vengono acquisite più fette contemporaneamente grazie alla presenza di corone di detettori, affiancate in direzione assiale. Tale tecnologia consente di ridurre i tempi di acquisizione che scendono al di sotto del secondo, tempo in cui il paziente può restare in apnea riducendo gli artefatti da movimento dovuti alla respirazione. La TC multistrato mostra inoltre un aumento della risoluzione spaziale e una riduzione della dose al paziente grazie all'introduzione del sistema ECG gating.

Revolution CT

La Revolution CT è la nuova CT installata al centro cardiologico Monzino



Figura 13 - Apparecchiatura di una Revolution CT

di Milano a partire da marzo 2015. Questa nuova tecnologia consente di modulare automaticamente l'emissione di raggi X riducendo la dose al paziente anche dell'82% senza compromettere la qualità dell'immagine, caratteristica che la rende ideale anche in cardiologia pediatrica.

Il nuovo scanner in dotazione al Monzino presenta un monitor elettrocardiografico integrato nell'apparecchiatura, e risulta più confortevole per il paziente poiché è al 50% più silenzioso rispetto alle CT di precedente generazione. Inoltre, il diametro più ampio del gantry riduce il livello di stress e di ansia indotto dalla procedura.

Le caratteristiche principali di questo genere di apparecchiatura sono:

- alta risoluzione spaziale (0,23 millimetri con riduzione degli artefatti integrata);
- velocità di esecuzione elevatissima che consente di abbreviare la durata dell'acquisizione e poter sottoporre al test anche pazienti con ritmo cardiaco non favorevole;
- copertura dell'intero cuore mediante un detettore a 16 cm con la possibilità di acquisire immagini in una sola scansione.

L'alta velocità di scansione e la capacità di acquisire immagini relative all'intero cuore consentono di ridurre al minimo artefatti indotti dal movimento dovuto alla respirazione e alle alterazioni del ritmo cardiaco.

La nuova TC installata al Monzino offre inoltre la possibilità concreta di dimezzare la dose di mezzo di contrasto, riducendo significativamente i problemi legati al rischio di ipersensibilità e, soprattutto, l'impatto sulla funzione renale. Per quanto concerne il dosaggio di radiazioni ionizzanti, esso è stato ridotto fino alla soglia di 1 millisievert. Queste caratteristiche rendono possibile eseguire l'esame TC in modo routinario senza compromettere la sicurezza dei pazienti.

FFR-CT (Fractional Flow Reserve)

L'introduzione di questa tecnologia rappresenta una svolta epocale nell'ambito della diagnosi di coronaropatie in quanto, prima di essa, l'unico modo per quantificare la riserva frazionale di flusso era mediante angiografia coronarica, con il risultato paradossale di dover comunque ricorrere ad un intervento invasivo che espone il paziente ad un'importante dose di radiazioni, per valutare se effettuare o meno un trattamento invasivo come l'angioplastica. Nella malattia coronarica, le più recenti linee guida raccomandano di selezionare il tipo di trattamento da adottare soltanto dopo aver valutato la collocazione anatomica e le dimensioni di una stenosi causata da una placca aterosclerotica, e anche il suo significato funzionale, ovvero l'effettiva entità della limitazione del flusso sanguigno coronarico, determinata da tale lesione. La riserva frazionale di flusso è un parametro che consente di conoscere non solo la presenza e il grado di ostruzione delle coronarie, ma anche in quale misura queste eventuali ostruzioni alterino la funzione circolatoria a valle della lesione.

Questo importante parametro è espresso come il rapporto tra la pressione media a valle di una stenosi e la pressione media a monte della stessa durante la massima iperemia, pertanto, in presenza di stenosi, esprime la frazione di flusso coronarico preservata nonostante la lesione. In condizioni di vasi coronarici normali, esenti da lesioni ostruttive, il valore di FFR è unitario per cui un valore minore dell'unità indica la presenza di lesioni aterosclerotiche. Il valore di cut-off di riferimento, al di sopra del quale la stenosi è da ritenersi emodinamicamente non significativa è $FFR = 0,80$.

Principio di funzionamento

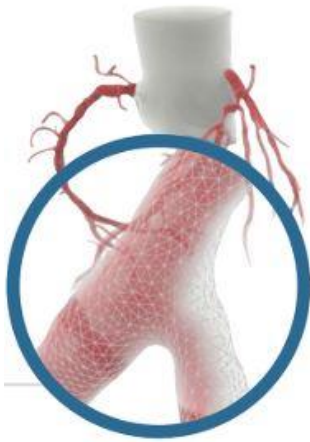
La società statunitense HeartFlow ha sviluppato un software che, a partire dalle immagini acquisite mediante TC multidetettore e da parametri del paziente quali peso, altezza, frazione di eiezione, ematocrito e frequenza cardiaca, è in grado di ricavare la riserva frazionale di flusso sull'albero coronarico. Il processo che porta al calcolo del FFR si articola in quattro fasi principali.



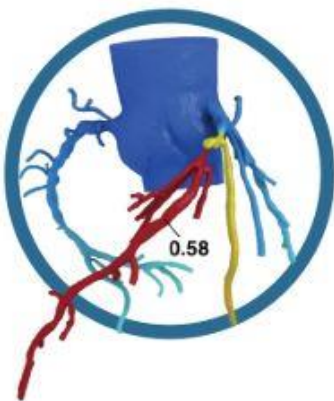
1. Viene eseguita una TAC cardiaca che fornisce una immagine dettagliata dell'anatomia delle coronarie e delle lesioni eventualmente presenti.



2. Se la TAC evidenzia una o più ostruzioni, dalla scansione TAC viene prodotta un'immagine 3D delle coronarie.



3. Un software della società statunitense Heartflow, al quale le immagini vengono inviate, misura il flusso sanguigno presente nelle coronarie a monte e a valle della ostruzione.



4. Il referto del software consiste in un'immagine 3D in codice colore, per identificare l'entità della limitazione di flusso sanguigno.

CT perfusion

La CT perfusion è un esame TC che combina le informazioni fornite dall'anatomia e dalla perfusione. La valutazione TC della perfusione miocardica si basa sulla distribuzione di materiale di contrasto iodato durante il suo primo passaggio attraverso il miocardio. Poiché la distribuzione del mezzo di contrasto è determinata dall'apporto di sangue arterioso, i difetti di perfusione miocardica possono essere identificati come aree ipo-attenuate contenenti quantità ridotte di materiale di contrasto. Il protocollo della CTP miocardica è composto da:

1. un'acquisizione sotto stress, eseguita con somministrazione di agenti farmacologici come l'adenosina per ridurre la vasodilatazione;
2. un'acquisizione a riposo, simile ad un esame di imaging di perfusione miocardica, che consente valutazioni sia sulla perfusione miocardica che sull'anatomia;
3. una terza acquisizione ritardata.

Il ritmo cardiaco e i sintomi sono monitorati durante l'intero esame. In aggiunta alla preparazione standard per una normale TC coronarica, il protocollo stress CTP richiede alcuni componenti aggiuntivi:

- catetere endovenoso addizionale per l'infusione di adenosina;
- apparecchiatura per ECG a 12 derivazioni;
- misuratore di pressione sanguigna.

La TC coronarica viene eseguita con scanner Revolution CT e per la fase di stress, alla fine del terzo minuto dell'infusione di adenosina, è stato

acquisito un singolo campione di dati durante il first-pass enhancement con lo stesso protocollo utilizzato per la TC coronarica a riposo.

Interpretazione dell'immagine

Tutti i set di dati di imaging delle coronarie sono stati combinati con la stress CTP in base alla seguente interpretazione:

- un quadro anatomico non ostruttivo con CTP negativa è considerato negativo;
- una CAD ostruttiva con stress CTP negativa è considerata negativa;
- una CAD ostruttiva con stress CTP positiva è considerata positiva.




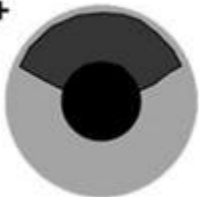
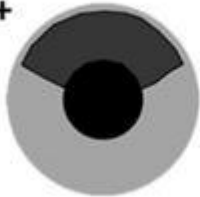
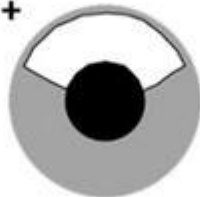
Stress Acquisition	Rest Acquisition	Delayed Acquisition	Interpretation
+ 	- 	- 	Reversible Defect Stress-induced Ischemia
+ 	+ 	+ 	Fixed Defect Myocardial Infarct

Figura 14 - Interpretazione dell'immagine di una PCT

Un difetto di perfusione sotto stress farmacologico che si inverte a riposo è un'ischemia indotta da stress, al contrario, un difetto irreversibile è

caratteristico dell'infarto del miocardio. Questa condizione mostra inoltre un aumento del contrasto tardivo.

5 Principali vantaggi nell'uso di Revolution CT, FFR-CT e PCT

L'angio-TC coronarica si sta sempre più affermando come promettente metodica, in grado di identificare non solo una stenosi coronarica causata da una placca aterosclerotica, ma anche la sua precisa collocazione anatomica, le sue dimensioni e il suo significato funzionale. Dunque, risulta oggi possibile, mediate l'uso della TC, valutare le caratteristiche di placche ateromasiche eventualmente presenti, come è stato recentemente dimostrato da uno studio condotto dal Dottor Daniele Andreini. Nello studio preso in esame sono stati considerati pazienti che hanno subito una morte cardiaca improvvisa per infarto miocardico acuto (IMA) pur non avendo accusato sintomi cardiovascolari in precedenza. Scopo dello studio, una volta stabilito che la causa principale dell'IMA risiedesse nella trombosi acuta delle coronarie, è stato quello di riuscire ad individuare precocemente l'aterosclerosi subclinica e il relativo rischio trombotico. Le placche aterosclerotiche presentano diverse caratteristiche tipiche quali:

- aumento del contenuto lipidico
- infiltrazione macrofagica
- emorragie intra-placca

In molti casi, le placche con queste caratteristiche, anche modeste, non limitano il flusso ma possono facilmente andare incontro a rottura. Tali lesioni, a lungo termine, possono quindi essere responsabili di eventi cardiovascolari maggiori.

5.1 Significato prognostico delle caratteristiche della placca coronarica rilevate con agio-TC

Lo studio condotto presso il centro cardiologico Monzino, pubblicato sullo European Heart Journal, ha valutato con angio-TC il ruolo prognostico a lungo termine delle caratteristiche di placche aterosclerotiche in una popolazione omogenea, selezionando 245 pazienti di età media pari a 63 ± 9 anni, con malattia coronarica (CAD) non-ostruttiva. Entro un periodo di follow-up medio di 98 ± 20 mesi nella popolazione studiata si sono verificati 28 eventi cardiovascolari maggiori in altrettanti pazienti. Lo studio ha permesso di osservare specifiche caratteristiche morfologiche della placca tra cui:

- indice di rimodellamento positivo (PRI) $> 1,4$
- burden plaque (PB) $> 0,7$
- bassa attenuazione della placca (LAP)
- napkin-ring sign (NRS)

Si è potuto osservare che, la presenza di almeno due di queste caratteristiche ad alto rischio sulla stessa placca, è associata ad una ridotta sopravvivenza libera da eventi cardiovascolari maggiori. Sono infine ricavate le curve di Kaplan-Meier per tutti gli eventi verificatisi.

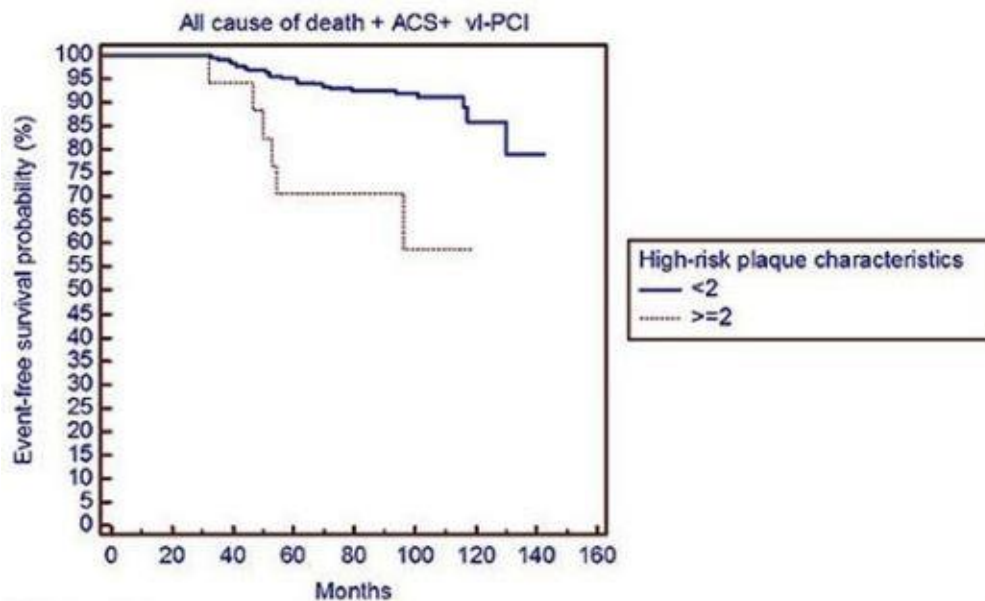


Figura 15 - Curva di Kaplan-Meier

Come si evince dal grafico, i tassi di sopravvivenza libera da eventi a 98 mesi sono ridotti nei pazienti con almeno una placca con due o più caratteristiche ad alto rischio (linea rossa tratteggiata). Queste evidenze sottolineano l'importanza di una valutazione complessiva dell'aterosclerosi coronarica, anche tenendo in considerazione la bassa prevalenza di alcune caratteristiche della placca ad alto rischio. Come lo stesso Dottor Andreini afferma, la TC coronarica potrebbe costituire un test di prima linea nei pazienti con sospetta CAD, poiché consente l'identificazione di un gruppo di pazienti a rischio con CAD non-ostruttiva, il cui maggior rischio potrebbe altrimenti essere facilmente sottovalutato.

5.2 Prestazioni diagnostiche dell'angiografia coronarica CT eseguita con copertura cardiaca completa in pazienti con alta frequenza cardiaca

Grazie alla nuova apparecchiatura CT, è stato possibile ridurre significativamente il range di controindicazioni di questa tecnica di imaging, superando il problema storico rappresentato dai pazienti aritmici, ma anche da pazienti affetti da obesità, scompensi o comunque non in grado

di mantenere l'apnea per il tempo necessario al completamento dell'analisi. Nel corso del 2018 il centro cardiologico Monzino di Milano si è impegnato nell'effettuare diversi studi che consentissero la valutazione di parametri tra cui qualità dell'immagine, esposizione alle radiazioni e accuratezza diagnostica dell'angiografia coronarica CT (CCTA) in pazienti aritmici. In particolare, nel marzo 2018, sono stati presi in considerazione 202 pazienti di cui 111 uomini di età media pari a 66 ± 8 anni con frequenza cardiaca molto alta e sospetta malattia coronarica. I pazienti sono stati divisi in due gruppi principali.

- Gruppo 1: 100 pazienti con $HR \geq 80$ bpm
- Gruppo 2: 102 pazienti con $HR \leq 65$ bpm

In tutti i pazienti, sono stati valutati il punteggio di qualità dell'immagine e l'interpretabilità coronarica ed è stata registrata la dose efficace (ED). Inoltre, 86 pazienti, di cui 40 appartenenti al gruppo 1 e 46 al gruppo 2, sono stati indirizzati per un'angiografia coronarica invasiva (ICA) in modo tale da poter confrontare i risultati delle due differenti procedure.

Risultati

Qualità dell'immagine e interpretabilità coronarica sono risultate molto elevate in entrambi i gruppi, mentre la dose efficace media è inferiore nel gruppo 2.

	Qualità immagine	Interpretabilità	ED media [mSv]
GRUPPO 1	3.35	97.3%	2.9 ± 1.6
GRUPPO 2	3.39	98%	1.1 ± 0.5

Conclusioni

L'impiego del nuovo scanner CT ad alta definizione con copertura cardiaca completa consente di valutare le arterie coronarie in pazienti con altra frequenza cardiaca con eccellenti qualità dell'immagine e interpretabilità coronarica e con una bassa esposizione alle radiazioni.

5.3 Qualità dell'immagine e dose di radiazioni dell'angiografia coronarica CT eseguita con scanner CT a copertura cardiaca completa in pazienti con fibrillazione atriale

Uno studio simile al precedente è stato condotto nell'aprile del 2018 per valutare le prestazioni diagnostiche del nuovo scanner CT a copertura cardiaca completa in pazienti affetti da fibrillazione atriale. Sono stati arruolati 164 pazienti sottoposti ad angiografia coronarica CT (CCTA) con uno scanner di copertura dell'asse z di 16 cm. In tutti i pazienti è stata quantificata la qualità dell'immagine in termini di valutazione coronarica e la dose efficace. Anche in questo caso i pazienti sono stati smistati in due gruppi in base alla frequenza cardiaca.

- Gruppo 1: 64 pazienti con HR < 75 bpm
- Gruppo 2: 100 pazienti con HR ≥ 75 bpm

Risultati

La valutazione coronarica è stata calcolata sia per i singoli gruppi che per la popolazione intera e non si sono registrate differenze significative tra i due gruppi. Anche la dose efficace media era simile in entrambi i gruppi.

	VALUTAZIONE CORONARICA	ED [mSv]
GRUPPO 1	98.9%	3.8 ± 1.9
GRUPPO 2	98.1%	3.9 ± 2.1
POPOLAZIONE	98.4%	

Conclusioni

Lo scanner CT di ultima generazione migliora la valutazione dell'arteria coronaria in pazienti con fibrillazione atriale consentendo una bassa esposizione alle radiazioni e di ottenere un'alta qualità dell'immagine. In questo modo risulta possibile evitare la angiografia coronarica invasiva anche in pazienti con sospetta fibrillazione atriale.

5.4 Valore diagnostico della CTP con scanner CT a copertura cardiaca completa in pazienti sintomatici a rischio intermedio e ad alto rischio sospettati di malattia coronarica.

L'obiettivo di questo studio era valutare l'accuratezza diagnostica della perfusione miocardica della tomografia computerizzata da stress per l'individuazione di coronaropatia funzionalmente significativa (CAD), utilizzando angiografia coronarica invasiva (ICA) e riserva di flusso frazionale invasiva (FFR) come standard di riferimento in pazienti sintomatici ad alto e medio rischio. Un totale di 100 pazienti è stato sottoposto ad angiografia coronarica a tomografia computerizzata seguita da CTP da sforzo con scanner CT a copertura cardiaca completa. Sono state inoltre valutate l'accuratezza diagnostica e la dose complessiva efficace col fine di confrontarle rispetto a quelle dell'ICA e del FFR invasivo.

Risultati

Per ogni paziente sono stati misurati diversi parametri quali: sensibilità, specificità, valore predittivo negativo, valore predittivo positivo, accuratezza e dose efficace (ED) sia per il solo esame di angiografia coronarica a tomografia computerizzata che per la combinazione di CTA e CTP.

	Sensibilità	Specificità	VPN	VPP	Accuratezza	ED [mSv]
CTA	98%	54%	96%	68%	76%	2.8±1.4
CTA+CTP	98%	83%	98%	86%	91%	2.5±1.1

Conclusioni

L'inclusione della perfusione miocardica da sforzo nella valutazione di pazienti con un rischio da intermedio ad alto, col fine di individuare coronaropatie funzionalmente significative, ha migliorato le prestazioni diagnostiche della angiografia coronarica a tomografia computerizzata riducendo, inoltre, la dose efficace per il paziente.

Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato quello di valutare le proprietà diagnostiche dell'apparecchiatura TC di ultima generazione al fine di poter validare l'impiego di tale tecnologia nella diagnosi di malattie delle coronarie. Con questo scopo, sono stati analizzati i risultati prodotti da diversi test clinici condotti presso il Centro Cardiologico Monzino di Milano, la struttura che in Italia è in possesso delle più recenti innovazioni in ambito TC. Come si evince dai risultati ottenuti, l'impiego di scanner di ultima generazione porta con sé un gran numero di vantaggi: innanzitutto la qualità dell'immagine risulta più elevata rispetto all'angiografia coronarica, consentendo di evitare gli effetti collaterali derivanti dall'impiego di una procedura così invasiva; in secondo luogo, la riduzione dei tempi di acquisizione porta ad una diminuzione degli artefatti da movimento dovuti alla respirazione, e consente di poter sottoporre a questo tipo di indagine anche pazienti aritmici o in fibrillazione atriale senza che si verifichino alterazioni nei risultati, superando così uno dei principali limiti di questa tecnica di imaging. Infine, la dose efficace a cui il paziente viene sottoposto risulta incredibilmente bassa, per questa ragione, la tecnologia TC potrebbe essere impiegata in futuro non solo per la diagnosi di eventuali coronaropatie ma anche per il monitoraggio di pazienti affetti da stenosi gravi. Così facendo sarebbe possibile eseguire test di follow up più frequenti senza che la dose per il paziente risulti eccessivamente dannosa.

Bibliografia

- Andreini D., *Significato prognostico delle caratteristiche della placca coronarica rilevate con angio-TC*, in “European Heart Journal”, 25 ottobre 2016.
- Andreini D., Pontone G., Guaricci A., Baggiano A., Fazzari F., Guglielmo M., Muscogiuri G., Berzovini C., Pasquini A., Mushtag S., Conte E., Calligaris G., De Martini S., Ferrari C., Galli S., Grancini L., Ravagnani P., Teruzzi G., Trabattoni D., Fabbicchi F., Laudi A., Montorsi P., Rabbat M., Bartorelli A., Pepi M., *Incremental Diagnostic Value of Stress Computed Tomography Myocardial Perfusion with whole-heart Coverage CT Scanner in Intermediate-to High-Risk Symptomatic Patients Suspected of Coronary Artery Disease*, in “JACC Cardiovascular Imaging”, 9 febbraio 2018.
- Andreini D., Mushtag S., Pontone G., Conte E., Guglielmo M., Annoni A., Baggiano A., Formenti A., Ditali V., Mancini M., Zanchi S., Melotti E., Trabattoni D., Montorsi P., Ravagnani P., Fiorentini C., Bartorelli A., Pepi M., *Diagnostic performance of coronary CT angiography carried out with a novel whole-heart*

coverage high-definition CT scanner in patients with high heart rate, in “International journal of cardiology”, 15 aprile 2018.

- Andreini D., Pontone G., Mushtag S., Mancini M., Conte E., Guglielmo M., Volpato V., Annoni A., Baggiano A., Formenti A., Ditali V., Perchinunno M., Fiorentini C., Bartorelli A., Pepi M., *Image quality and radiation dose of coronary CT angiography performed with whole-heart coverage CT scanner with intra-cycle motion correction algorithm in patients with atrial fibrillation*, in “European Radiology”, 28 Aprile 2018.
- Lamberti C., Rainer W., *Le Apparecchiature Biomediche e la loro Gestione*, Bologna, Patron Editore, 1998.
- Prof. Lamberti C., *Tecnologia dei sistemi TC*, Dispense del corso di Ingegneria Biomedica, 2017-2018.

Sitografia

- <https://www.cardiologicomonzino.it/it/unita-operative/unita-operativa-tac-cardiovascolare/18/>
- <https://www.cardiologicomonzino.it/it/page/eccellenza-diagnostica-un-importante-investimento-del-monzino-in-innovazione-tecnologica/215/>
- <https://www.cardiologicomonzino.it/it/page/come-funziona-la-ffr-ct/147/>
- <https://www.cardiologicomonzino.it/it/page/come-funziona-la-stress-ct-perfusion/238/>
- <https://www.cardiologicomonzino.it/it/news/2016/10/24/significato-prognostico-delle-caratteristiche-della-placca-coronarica-/610/>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29164383>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=29454774>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=29506722>

