

A. O. San Giovanni Battista di Torino

S. C. Organizzazione Sviluppo Risorse – Formazione permanente e Aggiornamento

Dipartimento di Radiodiagnostica e Medicina Nucleare

Corso di Formazione in Radiologia Vascolare

TSRM e tecnologie: attualità e prospettive.

“Aggiornamento in Radiologia vascolare e Interventistica”

Edizioni: Torino 12, 19 e 24 Maggio 2004

Neuroradiologia Terapeutica: Aspetti tecnici

Relatore:

Francesco Paolo SELLITTI

Autori:

F. P. SELLITTI, A. BEUX, M. CORIASCO

S.C.D.U. Neuroradiologia A.S.O. San Giovanni B.sta – Università di Torino

L'Angioradiografia (angiografia) è la **metodica radiologica** che, mediante l'**iniezione** di mezzo di contrasto (m.d.c.) radio-opaco organo-iodato, consente lo studio del sistema cardiovascolare; in considerazione della fisiologia del sistema, essa acquisisce le immagini mediante **la tecnica seriografica**.

La Neuroangioradiografia, in particolare, è la procedura diagnostica e/o terapeutica che studia il circolo del capo-collo e della colonna vertebrale (contenuto e contenente).

Il **paziente** inviato in una S.C. di Neuroradiologia è sempre da considerarsi **“di passaggio”**: terminato l'intervento diagnostico-terapeutico, ritorna al reparto di provenienza o altro reparto; una considerazione non trascurabile è che il personale tecnico, nell'ambito delle proprie competenze, deve possedere buone conoscenze tecnico-radiologiche, sanitarie ed anatomico-funzionali del sistema oggetto d'indagine.

Le indagini neuroangioradiografiche possono essere eseguite “in elezione” o a carattere d'urgenza e, anche in quest'ultimo caso, la richiesta viene effettuata dal medico che segue il paziente, previa presentazione del caso clinico al medico neuroradiologo, insieme al quale deciderà l'iter diagnostico-terapeutico più opportuno. Una volta stabilita la necessità dell'indagine, vengono coinvolti gli altri componenti del gruppo neuroradiologico (tecnico e infermieristico) ed il medico anestesista che è sempre presente durante ogni esame neuroangioradiografico.

INDICAZIONI ALL'INDAGINE NEUROANGIOGRAFICA

DIAGNOSTICA :

- **PATOLOGIA VASCOLARE**
 - a) **ATEROSCLEROTICA**
 - b) **MALFORMATIVA**
 - > **Aneurismi**
 - > **Angiomi**
 - > **Fistole Durali**

- **PATOLOGIA TUMORALE**

- **CATETERISMO SENI PETROSI**

- **ACCERTAMENTO MORTE CEREBRALE**

TERAPEUTICA :

- **ANGIOPLASTICA**

- **EMBOLIZZAZIONI**
 - a) **ANEURISMI**
 - b) **ANGIOMI**
 - c) **FISTOLE DURALI**
 - d) **FISTOLE CAROTIDO - CAVERNOSE**
 - e) **TUMORI VASCOLARIZZATI**

- **TEST DI OCCLUSIONE DELLE CAROTIDI**

- **CHEMIOTERAPIA**

- **TROMBOLISI**

- **PATOLOGIA SPINALE**

Prima di iniziare l'indagine diagnostica e terapeutica, quando il paziente è collaborante e vigile, il neuroradiologo gli illustrerà in dettaglio la procedura angiografica, i risultati che si attendono e gli eventuali inconvenienti correlati all'indagine; in seguito, insieme al medico neuroradiologo, il tecnico verifica che il consenso informato all'esecuzione dell'indagine sia stato sottoscritto dal paziente o, nel caso quest'ultimo non sia in grado di farlo, da un parente stretto (in questo caso la firma ha un valore etico-morale). In ogni caso, in assenza del consenso informato, sarà il medico richiedente ad indicare chiaramente sulla richiesta il carattere d'urgenza dell'indagine. Dopo aver verificato la richiesta d'esame, il consenso informato, le eventuali osservazioni del medico anestesista-rianimatore e che la preparazione del paziente sia avvenuta, questi viene condotto in sala angiografica e posizionato sul lettino radiologico. Prima di iniziare la procedura, il tecnico provvede a posizionare e a fissare con mezzi di contenzione la regione oggetto di studio (capo-collo), per minimizzare la possibilità di sovrapposizione di elementi radiopachi (cavetti per l'elettrocardiogramma, cavo per lo sfigmomanometro automatico e per la saturazione periferica d'ossigeno, ...) alla regione anatomica in esame.

Considerazioni:

1) Angioradiografia, cenni storici, attualità ed indicazioni.

Il precursore della metodica angiografica fu il neurochirurgo portoghese **Egas Moniz** che tra il **1926-1927**, iniettò direttamente m.d.c. per via arteriosa, dopo aver tentato ostinatamente di opacizzare il cervello somministrando grandi quantità di sali di litio sia e.v. che per os.

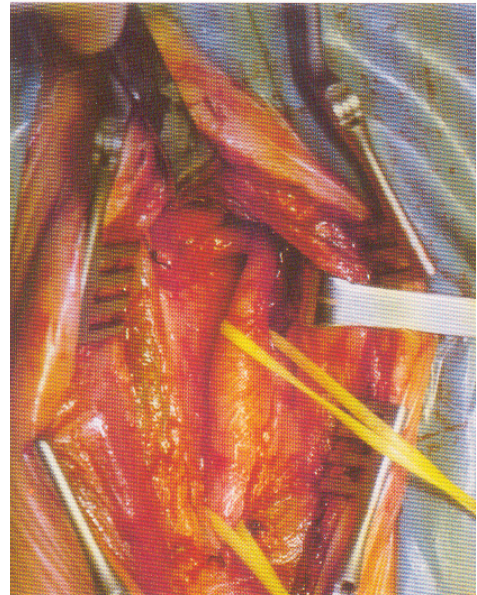
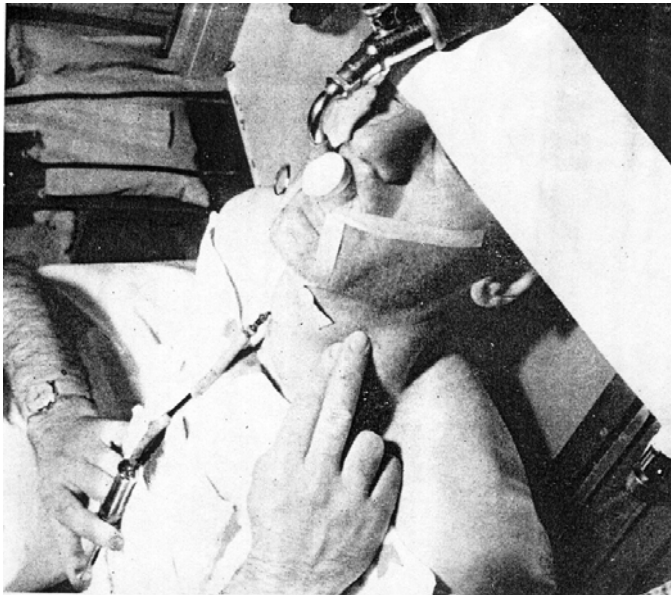
Egli fu impressionato dallo sviluppo di nuove metodiche in altri campi come per esempio la opacizzazione della cistifellea iniettando e.v. sostanze iodate. Un ulteriore problema che gli si pose, dopo aver visualizzato il sistema vascolare, fu di trovare un m.d.c. che, oltre ad avere una buona radio-opacità, fosse anche ben tollerato e non tossico. Dopo vari tentativi con sali di bromo, iodio, litio, sodio, potassio, ammonio, rubidio, egli scelse in fine una soluzione al 25% di sodio.

In questa metodica un importante contributo venne dallo svedese **Seldinger nel 1950**; egli introdusse la tecnica del cateterismo percutaneo dell'arteria femorale, sulla guida di un filo metallico.

L'angiografia diagnostica dei vasi cerebro-afferenti, è l'esame ancora insostituibile per una buona dimostrazione dei vasi endo-esocranici.

La **puntura diretta** delle aa. carotidi comuni (CCA) e delle aa. vertebrali, comportava una grande abilità da parte dell'operatore e grandi rischi per il paziente. La puntura delle CCA veniva eseguita a monte del bulbo carotideo sia per garantire la visione dell'arteria carotide interna (ICA) e dell'arteria carotide esterna (ECA), sia per ridurre reazioni da stimolo vagale.

Questa tecnica, unitamente all'iniezione attraverso il cateterismo dell'arteria brachiale, è stata ormai abbandonata grazie all'introduzione della tecnica del cateterismo per via femorale.



Angioradiogramma dell'arteria carotide interna in proiezione LL e PA, ottenuta tramite puntura diretta dell'arteria (1977).

Dopo la puntura dell'a. femorale, il catetere viene introdotto sotto controllo radioscopico in questo vaso e sospinto su guida metallica nell'arteria iliaca, nell'arteria aorta ed infine nei vasi brachio-cefalici. In base alla patologia da studiare, si esegue il cateterismo più selettivo della carotide interna, esterna (ed eventualmente i rami di queste) e dell'arteria vertebrale.

Grazie a particolari cateteri più sottili (microcateteri), è possibile eseguire studi iperselettivi delle arterie periferiche intracraniche.

Perché l'esame possa essere eseguito, il paziente deve essere ricoverato in ospedale. Gli esami diagnostici e strumentali indispensabili sono: Rx torace, ECG, esami ematochimici quali: quadro proteico della coagulazione, glicemia, creatinemia, urea e, infine, esami neuroradiologici come la TC, TRM ed ecodoppler. Il paziente, viene informato sulle modalità, i rischi e l'importanza dell'esame e quindi invitato ad autorizzare l'esecuzione dell'esame firmando quello che è definito il "consenso informato", consistente in una scheda esplicativa sulla procedura ed il suo rapporto rischio/beneficio.

I trattamenti terapeutici endovascolari sono: l'embolizzazione, la chemioterapia endoarteriosa, l'angioplastica e la trombolisi.

Gli agenti embolizzanti possono essere solidi o liquidi: dei primi fanno parte l'ivalon ed il contour (alcoli polivinilici); dei secondi l'ibca e l'histoacril (colle poliviniliche). Entrambi gli agenti embolizzanti solidificano a contatto con gli elettroliti del sangue in pochi secondi, producendo una occlusione a stampo del vaso.

Per l'occlusione di particolari fistole artero-venose (seno cavernoso) si usano palloncini in latex o silicone che una volta gonfiati nella sede prescelta, vengono staccati per trazione.

Lo scopo della chemioterapia endovascolare è quello di introdurre il farmaco chemioterapico, in dosi stabilite, direttamente nella regione tumorale.

La trombolisi viene eseguita in regime d'urgenza ed ha lo scopo di disostruire l'arteria da un trombo formatosi acutamente. I pazienti sottoposti a questo intervento sono a rischio emorragico per la terapia anticoagulante somministrata. I farmaci usati per la trombolisi sono l'urochinasi (800.000 unità) e la rtpa (20 mg).

Per le embolizzazioni di aneurismi intracranici vengono utilizzate spirali costituite da leghe di platino e tungsteno (RM compatibili) che possono essere staccate in modo meccanico o per elettrolisi (tecnica di Guglielmi - GDC).

2) Seriografia e Seriografo.

L'introduzione dell'angioradiologia terapeutica, ha obbligato all'assunzione di una nuova filosofia di progettazione delle apparecchiature radiologiche, rendendole sempre più "dedicate".

Per comprendere le difficoltà riscontrate dai pionieri dell'angioradiologia (Moniz – 1926-27) e lo sviluppo tecnologico che man mano è seguito nel produrre l'immagine angioradiografica, è necessario ricordare che il sangue è un organo in costante movimento. Negli esami che lo riguardano si parla pertanto di flusso ematico.

Il sangue irrori gli organi passando attraverso le fasi angioradiograficamente definite: fase arteriosa (precoce e tardiva), fase arteriolare ("parenchimale") e fase venosa (precoce e tardiva). Ciò significa che per eseguire un'indagine angioradiografica completa bisogna acquisire una serie d'immagini ravvicinate, nelle diverse fasi, determinata dalla velocità del flusso ematico in condizioni normali o anomale (es. Malformazioni Artero-Venose (M.A.V.)).

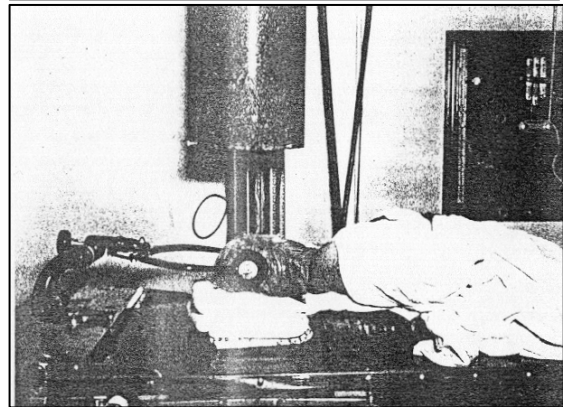
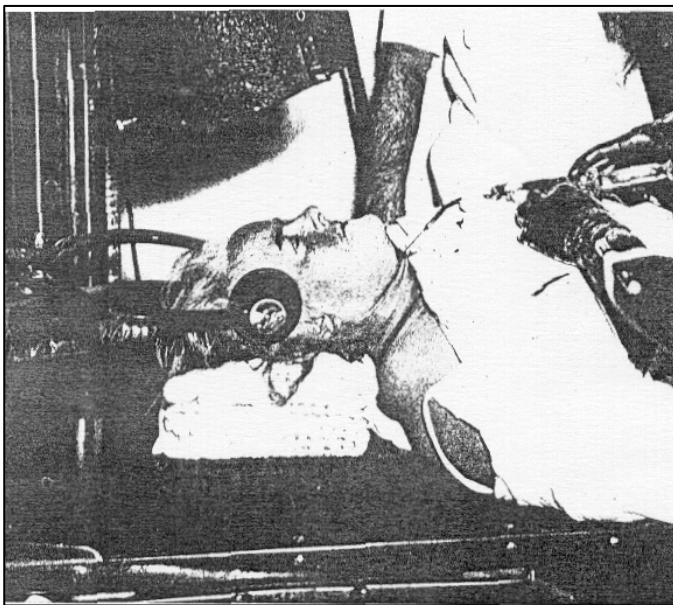
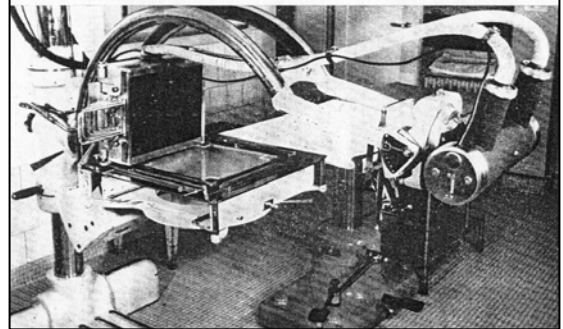
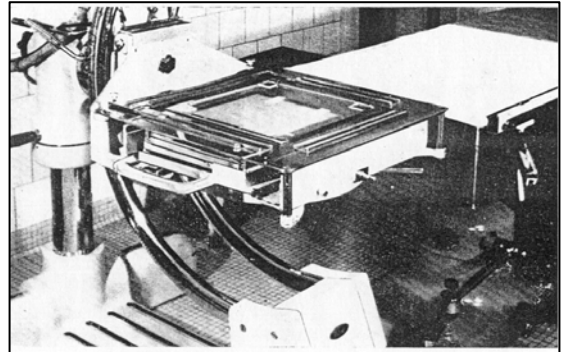
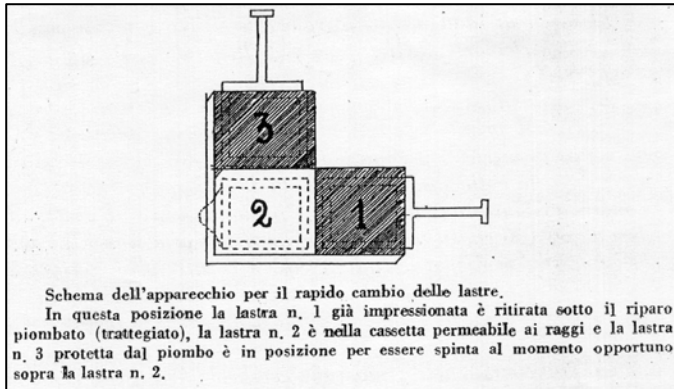
In principio si poteva contare solo sulla disponibilità di un tubo radiogeno e la fantasiosa inventiva degli operatori che in modo molto artigianale progettavano e/o costruivano quello che chiamavano **"APPARECCHIO PER IL RAPIDO CAMBIO DELLE LASTRE"**. questi sistemi consentivano di ottenere, in principio, un massimo di tre radiogrammi limitando in tal modo le possibilità diagnostiche.

Miglioramenti nel numero di radiografie ottenibili (e quindi nel numero delle informazioni), sono stati possibili con l'introduzione di sistemi per il cambio rapido di pellicole (ancora manuale) costituiti da un porta cassette capace di contenerne fino ad un numero di 6. Ogni cassetta era contenuta in un telaio dotato di un manico (ognuno di dimensioni diverse: maggiore quello più vicino al tubo radiogeno) e di una base anti-Rx per impedire l'annerimento della pellicola radiografica contenuta nella cassetta sottostante.

Man mano che si eseguiva una radiografia, i telai venivano estratti manualmente e, una molla posta sulla superficie inferiore del contenitore, sospingeva verso l'alto le rimanenti per il completamento della seriografia.

Occorre sottolineare che, per la buona riuscita dell'indagine, era da considerarsi requisito irrinunciabile la perfetta sincronia fra le operazioni spettanti al medico ed al tecnico radiologo.

Si consideri inoltre che l'iniezione del m.d.c. radiopaco, il comando del passaggio Rx e l'estrazione delle lastre avvenivano in prossimità della fonte radiogena e, nonostante i mezzi di protezione, sia il tecnico sia il medico erano sottoposti ad un'esposizione significativa di dose di radiazione.



Un importante passo avanti è stato fatto con l'introduzione di apparecchi definiti **“SERIOGRAFI A CADENZA RAPIDA E VARIABILE”** con **comando a distanza**.

Per ben documentare tutta la dinamica del flusso ematico, si deve disporre di apparecchi che consentano di ottenere numerosi radiogrammi con cadenze programmabili a diversa velocità.

La meccanica in dotazione (motorizzata) deve essere precisa e accurata tale da garantire un funzionamento con ridottissimi problemi d'inceppamento. Le pellicole radiografiche devono anch'esse rispondere a precise caratteristiche sia nel supporto (maneggevolezza e resistenza) che nella forma (angoli più arrotondati).

Il costruttore più noto che per primo ideò e costruì un serigrafio a cadenza rapida e variabile, è stato lo svedese **Elema Shonander** di Stoccolma che ha progettato due modelli: l'**AOT (AngiO Table)** e successivamente il **PUCK**.

Il sistema **AOT** è controllato attraverso un pannello elettrico dotato di manopole che consente di operare con comando di grafia a singola esposizione o con programma variabile. In quest'ultimo caso, per mezzo del pannello di controllo, è possibile programmare per uno stesso esame un certo numero di acquisizioni di radiogrammi al secondo, e questo per più periodi di tempo (es. **1° periodo:** 3 pellicole/1sec. per 3 sec.; **2° periodo:** 2 pellicole/3sec. per 6 sec.; **3° periodo:** ...).

Era possibile ottenere cadenze di radiogrammi da 1 esposizione/5sec. a 6 esposizioni/1sec.

Vennero commercializzate una versione per pellicole 35×35 e una per pellicole 24×30.

Il serbatoio delle pellicole “vergini”, ne poteva contenere fino ad un massimo di 30 (in genere un serbatoio pieno veniva utilizzato per più di una seriografia).

L'indagine angioradiografica presentava **2 fasi diverse:** la prima di **studio in radioscopia** per verificare il corretto posizionamento del catetere e la seconda di **acquisizione radiografica**.

Le due fasi venivano eseguite con il paziente posizionato sul lettino angiografico che veniva fatto scorrere (con spostamenti longitudinali e trasversali) prima dove era posto lo stativo con L'Intensificatore di Brillanza (I.B.) e poi ove era stato fissato l'AOT (generalmente in testa al tavolo di cateterismo o, comunque, lontano dallo stativo con I.B.).

L'AOT consentiva riprese radiografiche solo nelle proiezioni frontali (se non si voleva e/o poteva muovere il paziente). Per ottenere proiezioni latero-laterale si ricorreva in alcuni casi ad un secondo seriografo offrendo, in tal modo, la possibilità di acquisire con una sola iniezione di m.d.c. le due proiezioni (con l'aggiunta ovviamente di un secondo tubo radiogeno), in alternativa l'AOT veniva montato su di un supporto che, per rotazione, consentiva di posizionarlo ad angolo retto rispetto alla posizione originaria. Naturalmente anche la fonte radiogena veniva adeguatamente orientata.

Durante l'acquisizione dei radiogrammi ogni singola pellicola veniva automaticamente prelevata dal magazzino di caricamento e trasportata, per trascinamento attraverso appositi rulli, fra gli schermi di rinforzo dove, ben compressa, aderiva perfettamente ad essi. Un micro switch posto fra gli schermi, segnalava il corretto posizionamento della pellicola e, solo in questo caso, il meccanismo di sicurezza consentiva l'esposizione ai raggi X.

Dopo l'esposizione, la pellicola, sempre per trascinamento, riprendeva il cammino verso il magazzino raccogliitore. Nel frattempo una seconda pellicola aveva già preso posto fra gli schermi di rinforzo. Questo ciclo veniva ripetuto in successione per tutta la durata della ripresa angioradiografica con la cadenza stabilita in precedenza dall'operatore. Una serie di sicurezze

elettriche e meccaniche impedivano l'apertura dell'AOT, ad evitare che le pellicole venissero accidentalmente esposte alla luce ambientale.

Uno speciale dispositivo consentiva di far apparire sulla pellicola i dati del paziente e numerare automaticamente in successione tutte le pellicole esposte in modo da ricostruire più facilmente la progressione. Il numero sulla pellicola poteva essere sostituito da un marcatempo, ottenendo in tal modo informazioni più precise sulla dinamica del flusso ematico.

L'inconveniente più importante nell'utilizzo dell'AOT consiste nel dover spostare continuamente il paziente durante le fasi di scopia e grafia.

Per ovviare a questo inconveniente, la stessa casa produttrice ha progettato e realizzato il modello **PUCK** che per le dimensioni ridotte può essere assemblato all'Intensificatore di Brillanza e con questo costituire un tutt'uno rappresentando la parte detettrice dello stativo ad arco dell'angiografo (vedi craniostato).

Le industrie di apparecchi angiografici utilizzavano, secondo la propria filosofia progettuale, due diversi modelli di Puck che la casa costruttrice svedese metteva a disposizione. I due modelli si differenziano fra loro per il diverso percorso che compie la pellicola radiografica, una volta impressionata, per raggiungere il magazzino raccoglitore posizionato ad "L" o ad "U" rispetto al piano d'esposizione: a 90° nella prima configurazione (al di fuori del fascio Rx) e immediatamente sotto il piano d'esposizione (in pieno fascio Rx) nella configurazione ad "U".

Ciò che è importante ribadire è che **con l'introduzione della tecnologia Puck, non era più necessario eseguire l'indagine in fase di scopia da una parte e quella di grafia dall'altra.**

Entrambi i modelli accettano un massimo di 20 pellicole (formato 35×35 o 24×30) ciascuna delle quali, durante la seriografia, può essere contrassegnata con un numero progressivo ed i dati del paziente.

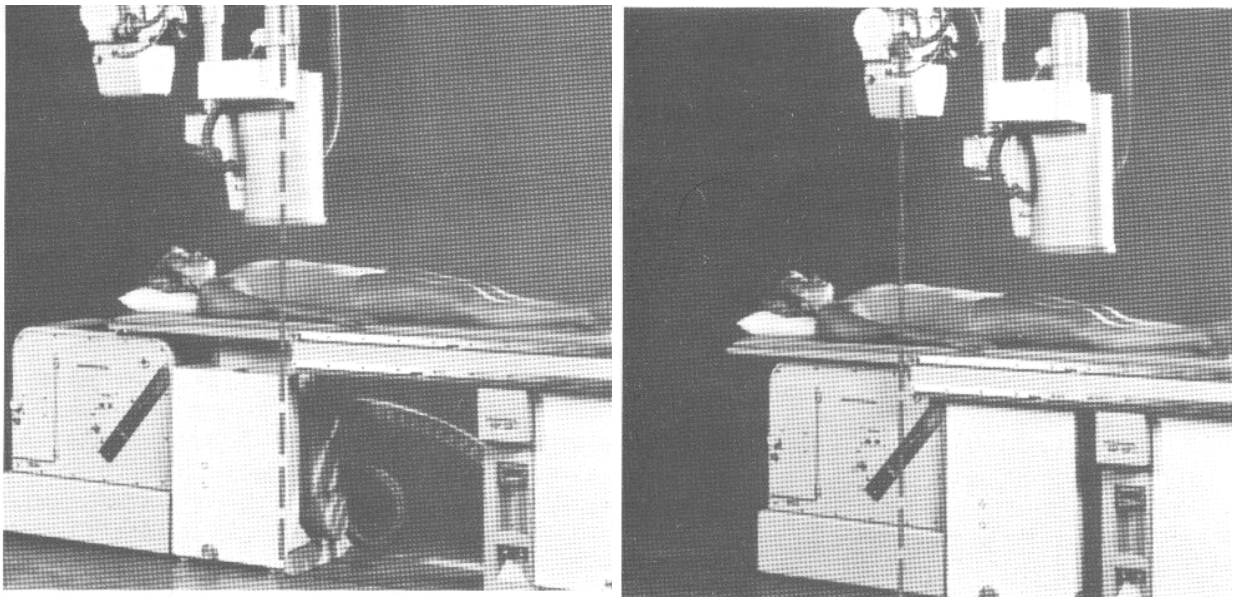
La modalità di trascinamento della pellicola è sostanzialmente sovrapponibile a quella dell'AOT, offrendo però un numero massimo di 3 radiogrammi/sec.

Anche in questo caso è possibile eseguire esposizioni singole. Quelle seriate sono gestite da una speciale centralina, il cui funzionamento è basato su una scheda perforata a mano e che offre le stesse possibilità del pannello di comando dell'AOT.

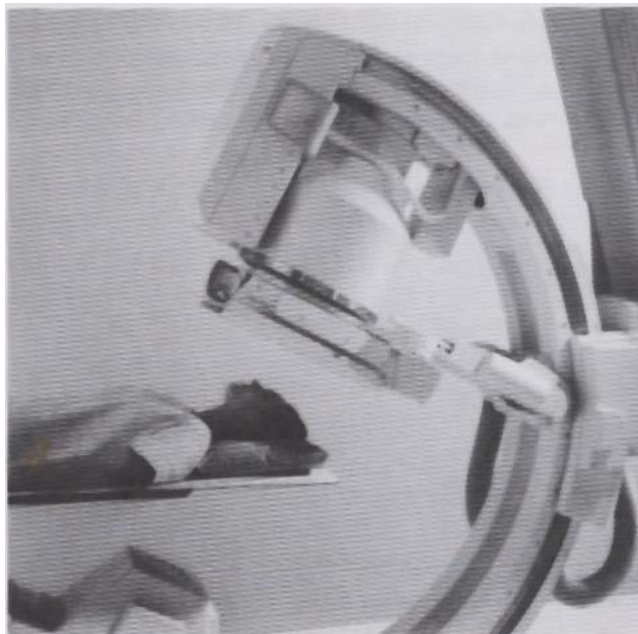
Per quanto con l'introduzione del seriografo Puck non sia più necessario far compiere al paziente significativi spostamenti con il lettino angiografico, è però ancora necessario far cambiare posizione ai due sistemi di detezione (I.B. - seriografo); ciò avviene attraverso un **tavolo di comando mobile** che aziona i ruotismi per lo scambio dei due piani sensibili e per i movimenti dello stativo a "C" sui tre piani dello spazio.

Un sistema adottato in alternativa è quello in cui si fa sostenere il seriografo Puck da un braccio ancorato allo stativo ad arco dell'angiografo. In questo caso il braccio può andare, all'occorrenza, ad occupare lo "spazio sensibile" con un movimento di traslazione rispetto al suo punto di ancoraggio,

Con l'introduzione dell'angioradiologia digitale, i seriografi a cadenza rapida vennero man mano messi da parte.



Apparecchio angioradiografico con seriografo AOT.



Apparecchio angioradiografico con seriografo PUCK rispettivamente ad "U" e ad "L".

3) Craniostato e Angioradiografo.

Il craniostato è l'apparecchiatura radiologica dedicata allo studio radiografico del cranio. Ha avuto in passato notevole importanza in ambito neuroradiologico, per aver consentito l'esecuzione delle proiezioni radiografiche durante indagini cruente ed invasive quali l'encefalografia gassosa, la ventricolografia, la mielografia (in particolare della regione cervicale eseguita con tecnica della puntura laterocervicale) e l'arteriografia dei vasi cerebro afferenti, riducendo al minimo la necessità di spostare il paziente.

In epoca precedente all'avvento della tomografia computerizzata (TC) questa apparecchiatura fu molto importante e, nel corso del tempo, subì notevoli evoluzioni nell'intento di agevolare le tecniche di indagine e migliorarne le possibilità diagnostiche.

La sua ideazione si deve al neuroradiologo svedese **LYSHOLM**, negli anni trenta.

Le caratteristiche funzionali comuni a tutti i craniostati sono:

- una **STRUTTURA PORTANTE** a sviluppo verticale fissata al pavimento ed al muro e/o al soffitto;
- uno **STATIVO AD ARCO** preposto a sostenere il complesso radiogeno ed un Potter-Bucky con porta cassette di formato massimo 30x30 centimetri.

Tutto il complesso è strutturato in modo tale che combinando i movimenti dello stativo sulla struttura portante (movimento verso l'alto ed il basso) e negli altri 2 piani dello spazio, è possibile ottenere le diverse incidenze radiografiche (movimenti come su una superficie di una sfera).

Comunque fosse strutturato, in principio i movimenti dello stativo a "C" erano manuali e facilitati grazie ad un sistema "a bilanciere".

Con le generazioni successive è stato possibile associare al craniostato un **meccanismo di movimenti motorizzati** consentendo anche l'esecuzione d'indagini tomografiche ottenute variando la distanza tubo radiogeno-piano sensibile, e movimento costante dello stativo.

Un ulteriore elemento innovativo è derivato dalla possibilità di motorizzare il piano d'appoggio per il paziente pur mantenendo, in caso di bisogno, la possibilità di usare movimenti comandati manualmente. La snodabilità del piano consente al paziente di assumere posizioni sedute, in decubito e in trendelemburg.

Grazie a sicuri mezzi di contenzione, apparecchi più sofisticati consentivano di ancorare il paziente alla sedia del craniostato, facendogli assumere diverse posizioni, che ruotando attorno ad un fulcro consentiva di far assumere al paziente tutti gli orientamenti nell'arco dei 360°.

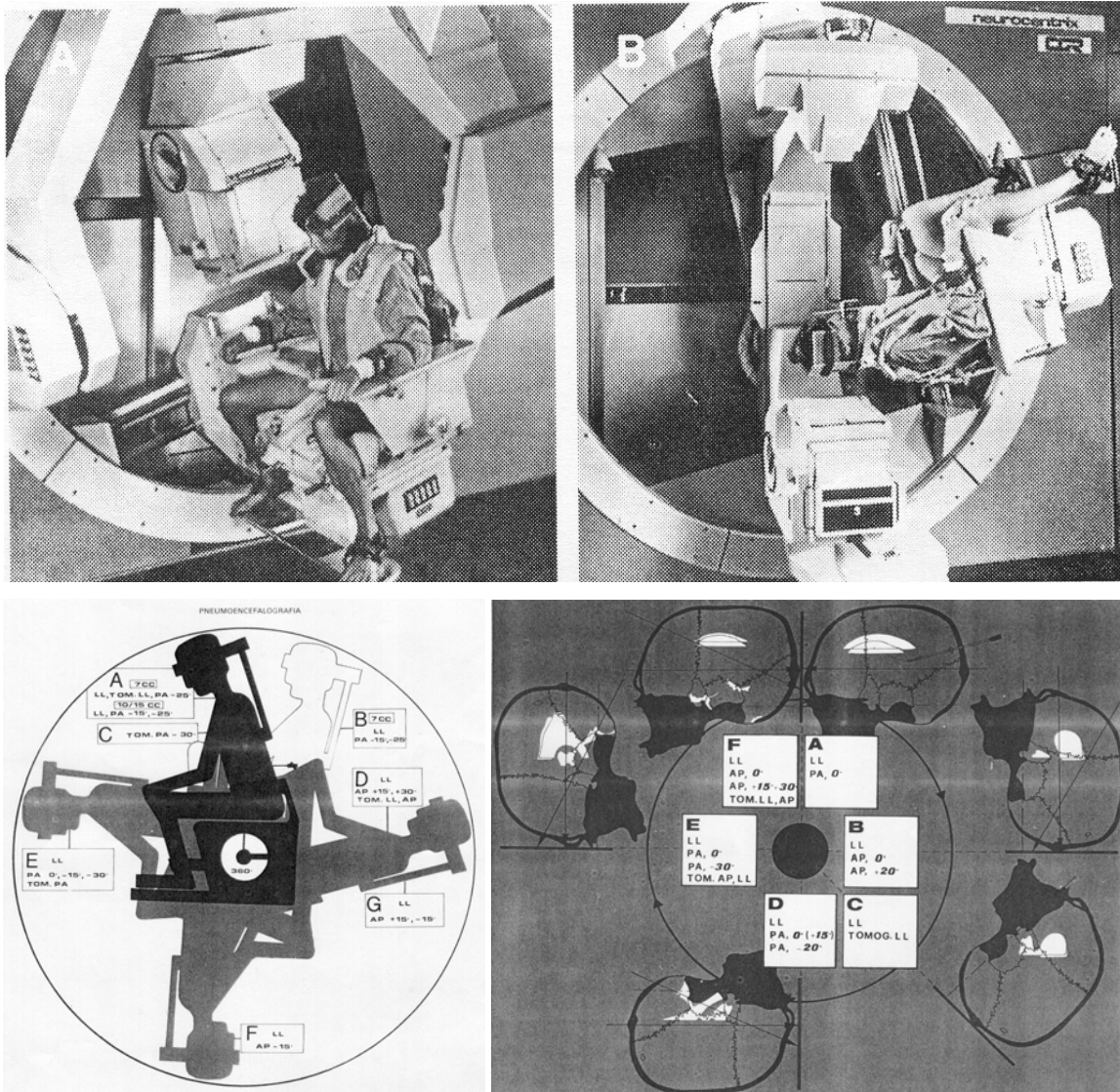
Anche in questo caso il movimento è affidato ad un sistema motorizzato (e manuale).

L'apparecchiatura era corredata di sistemi di centratura ottici e di localizzatori supplementari.

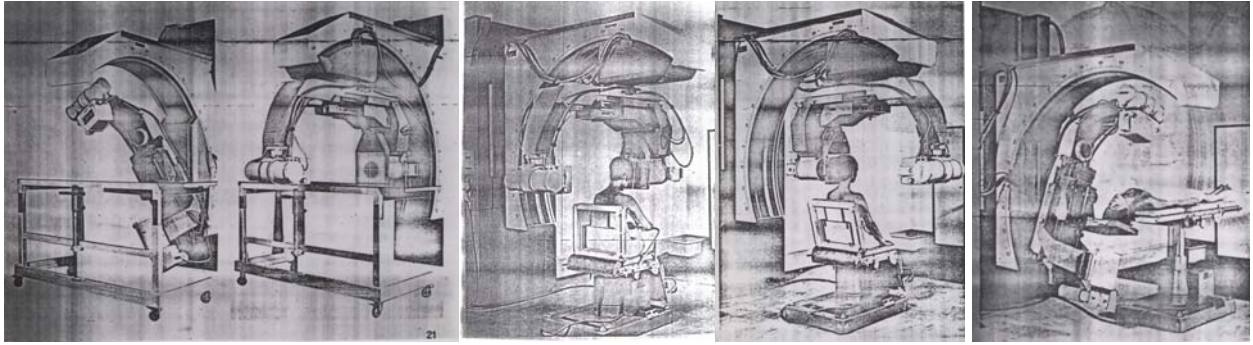
Le generazioni successive di craniostati offrivano la possibilità di eseguire tomografie, teleradiografie, mielografie e, grazie all'aggiunta dell'intensificatore di brillantezza, indagini angiografiche, facilitando notevolmente l'intervento dell'operatore, medico e tecnico.

L'evoluzione più significativa che rende ancora attuale il craniostato, nonostante l'avvento della TC e tRMN, è la sua trasformazione in **ANGIORADIOGRAFO**, apparecchio capace di acquisire informazioni con tecnica prima **convenzionale** (associando allo stativo a "C" un seriografo a cadenza rapida tipo **ELEMA-PUCK**), successivamente **digitale**.

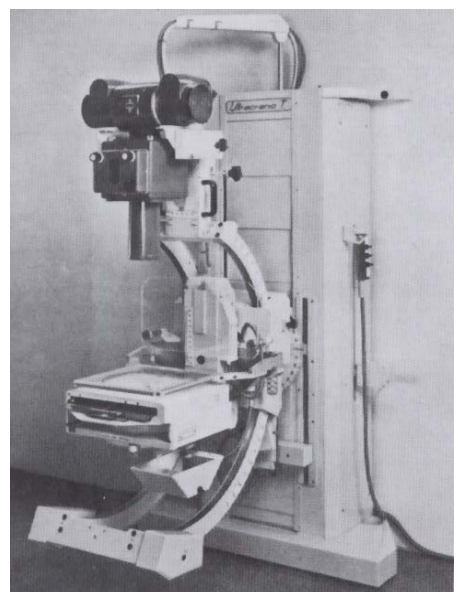
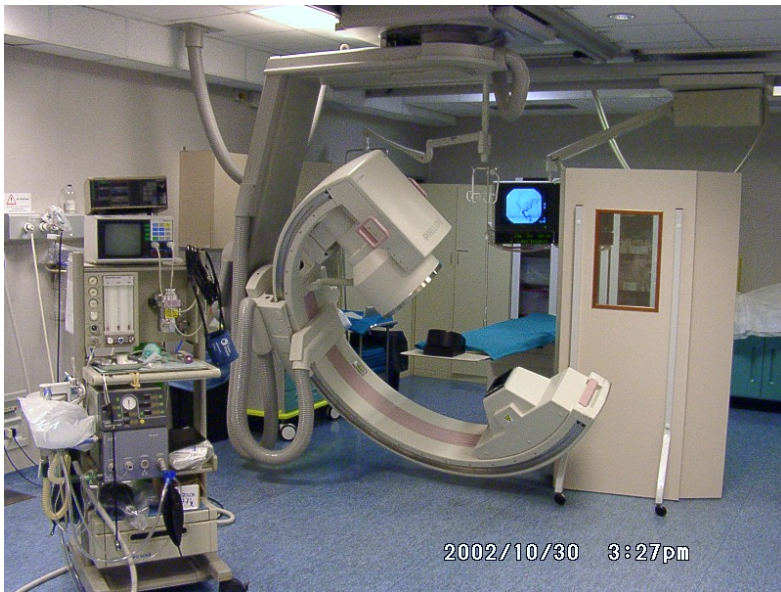
In principio utilizzato solo nei servizi di neuroradiologia, viene ora impiegato per indagini diagnostiche e terapeutiche di tutti i distretti vascolari.



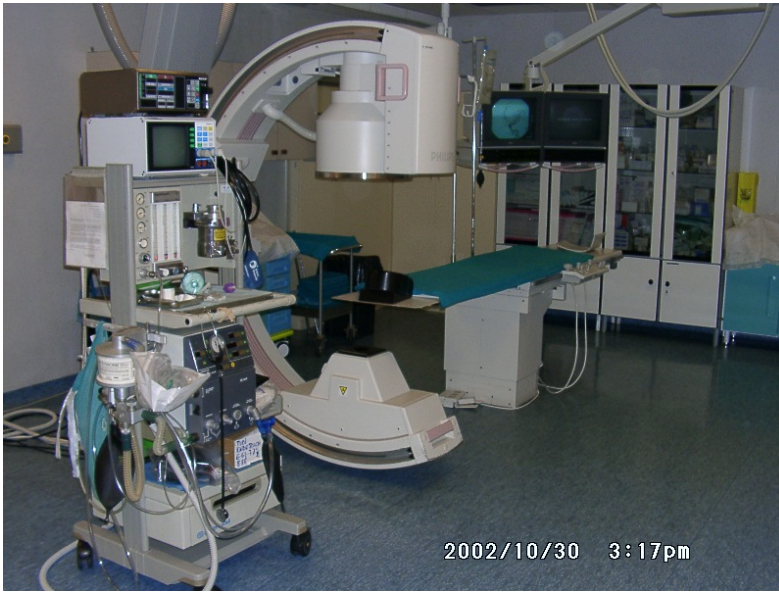
Craniostato a rotazione utilizzato per la pneumoencefalografia.



Craniostato di vecchia concezione in dotazione, in passato, alla nostra SCDU Neuroradiologia.



Agioradiografo DSA di moderna configurazione in dotazione alla nostra SCDU Neuroradiologia: confronto con craniostato di vecchia concezione.



La neuroangioradiografia trae grande vantaggio dall'impiego di apparecchiature angiografiche a sottrazione digitale d'immagini (DSA – Digital Subtraction Angiography) con le quali si possono studiare nei minimi particolari i vasi epiaortici, il circolo intracranico e i vasi spinali, fino alle diramazioni più distali il cui calibro è inferiore al millimetro. Questa tecnica consente la cancellazione di tutte le strutture anatomiche, esclusi i vasi iniettati da m.d.c., e dà il massimo rendimento in neuroangioradiografia, per la relativa immobilità dei distretti corporei studiati (requisito importante per una buona sottrazione d'immagine).

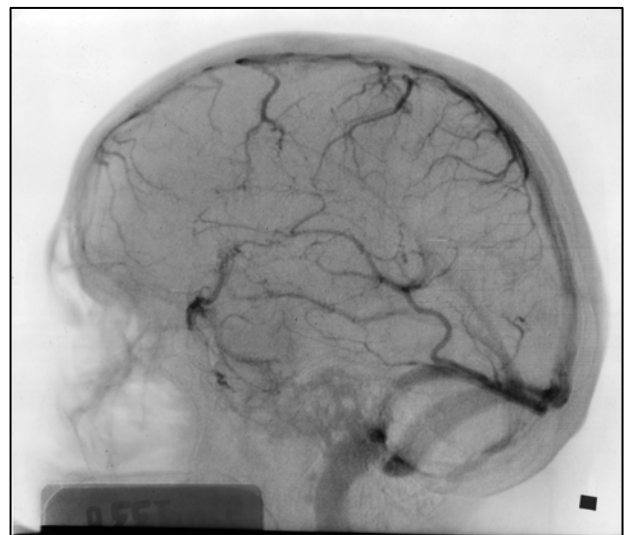
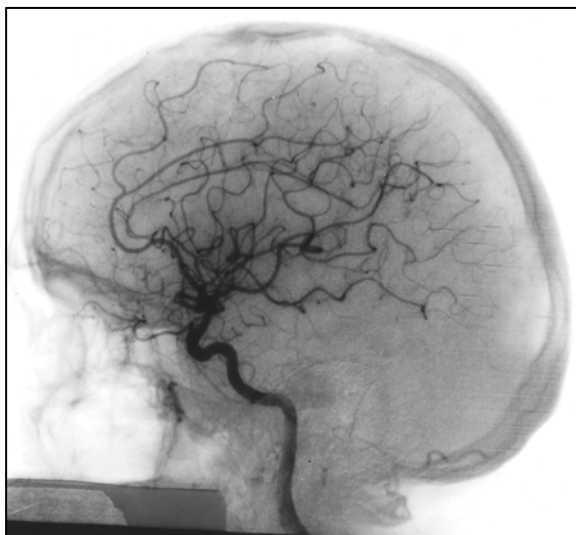
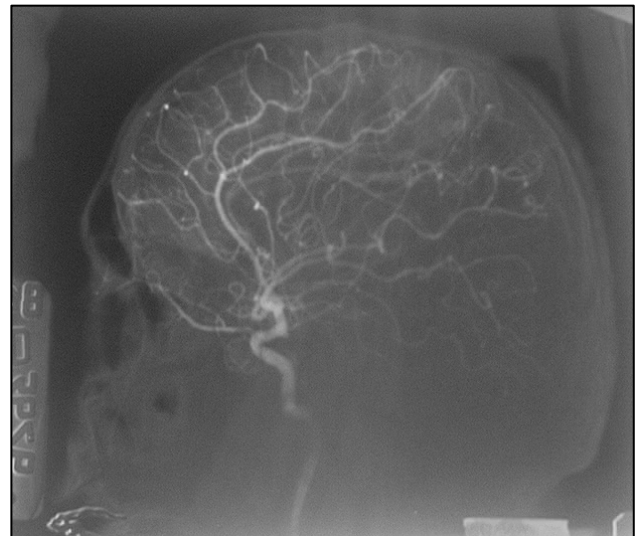
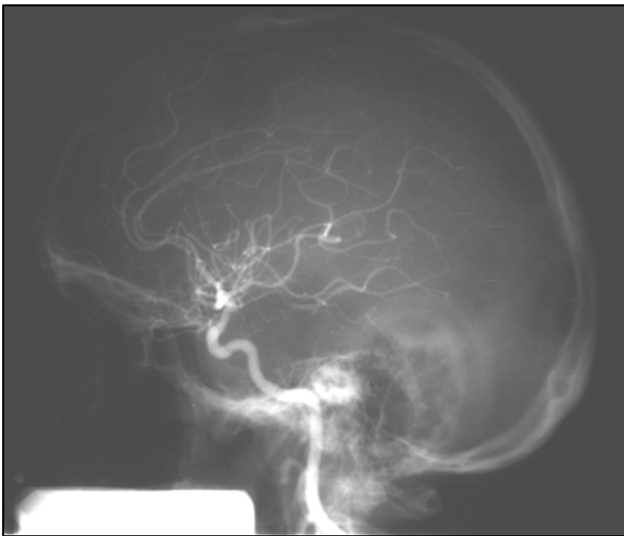
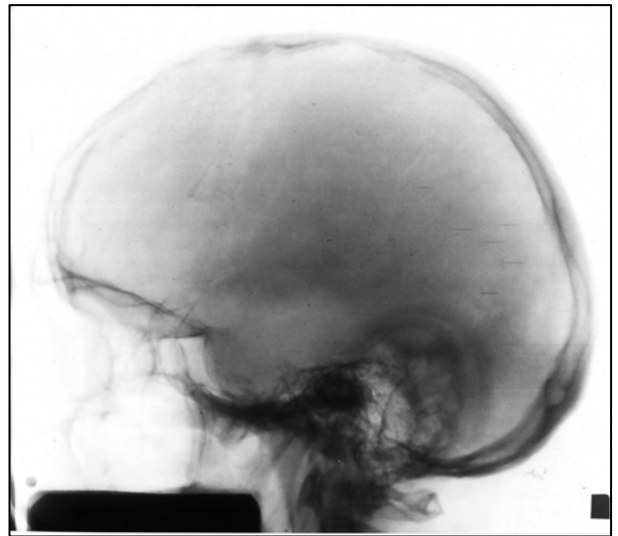
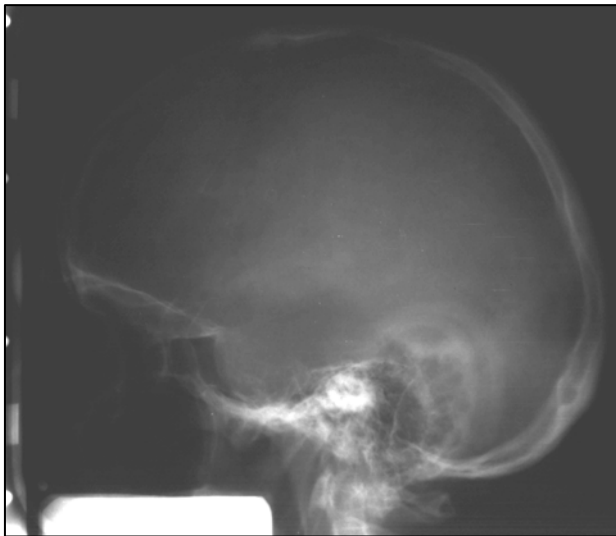
Prima dell'avvento delle apparecchiature angiografiche DSA, la sottrazione fotografica d'immagine (introdotta dalla geniale intuizione di Ziedses Des Plantes, neuroradiologo olandese che pubblicò un suo primo lavoro nel 1935 sulla rivista tedesca di radiologia), veniva effettuata manualmente dal tecnico; essa consisteva nell'acquisire una o più radiografie “in bianco” ovvero senza l'introduzione del m.d.c., e successivamente, **nella stessa proiezione radiografica**, si acquisiva una serie d'immagini dopo iniezione di m.d.c., seguendone la progressione nell'albero vascolare.

Tra le prime radiografie, quelle in “bianco”, si sceglieva quella che meglio si sovrapponeva alle immagini con m.d.c. ottenendo da essa, in camera oscura, una copia radiografica positiva: la “**maschera fotografica**”. La maschera era caratterizzata da contrasti opposti a quelli della radiografia iniziale; sovrapponendo perfettamente la “maschera” alle singole immagini angiografiche, le parti in positivo della “maschera” e in negativo dei radiogrammi angiografici si neutralizzano ovvero si sottraggono rendendo visibile solo l'elemento “in più” costituito dal sistema vascolare opacizzato dal m.d.c..

In camera oscura, alla coppia di pellicole maschera-radiografia con albero vascolare opacizzato veniva sovrapposta una pellicola non impressionata che veniva esposta alla luce di un bromografo, così da ottenere un'immagine finale sottratta che evidenziava solo il sistema vascolare.

Ziedses Des Plantes, neuroradiologo olandese, pubblicò un suo primo lavoro sulla sottrazione fotografica d'immagine nel 1935 sulla rivista tedesca di radiologia (Ziedses Des Plantes B. G. – subtraktion fortschr. Roentgenstr., 1 (1935), 69). La pubblicazione del 1935 è avvenuta un anno dopo (1934) la sua comunicazione su una rivista locale olandese. Lo sviluppo ed il perfezionamento della tecnica della sottrazione d'immagine avvenne negli anni successivi e presentato al Symposium neuroradiologicum del 1957 e 1961.

L'angioradiografo digitale consente di ottenere lo stesso risultato, con maggiore precisione e duttilità grazie alla conversione digitale (in numeri) delle informazioni ottenute.



Fasi di sottrazione fotografica d'immagine (introdotta dalla geniale intuizione di Ziedes des Plantes, neuroradiologo olandese), dell'arteria carotide interna in proiezione LL, nelle fasi arteriosa e venosa.

La realizzazione di una sequenza angiografica digitale inizia con l'acquisizione di una o più immagini digitali cosiddette "maschere". In figura è riportato un esempio di un'immagine maschera con a fianco i possibili valori dei pixel di un dettaglio **espressi in una scala di livelli di grigio a 8 bit**.

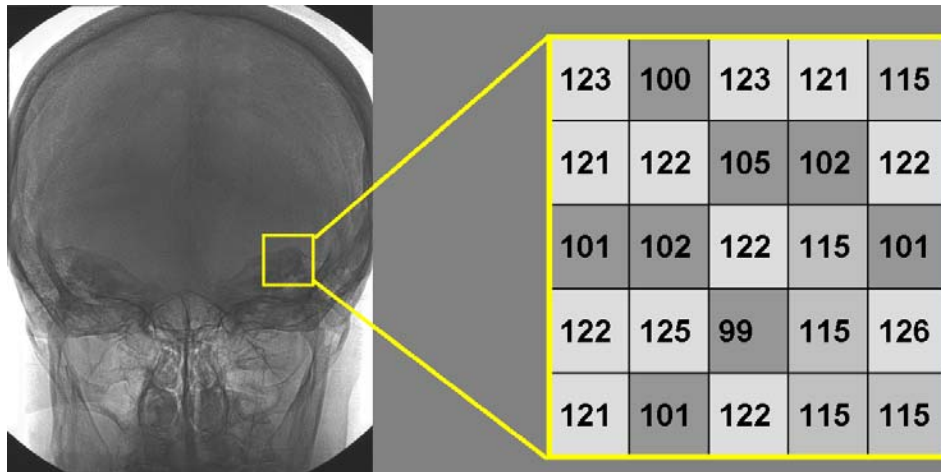


Immagine della maschera e rappresentazione della matrice di un piccolo dettaglio con valori numerici delle intensità di grigio dei pixels.

Successivamente all'immagine maschera vengono acquisite una serie di immagini contemporanee all'immissione nei vasi del mezzo di contrasto. In figura è riportato lo stesso dettaglio dell'immagine precedente dopo iniezione di m.d.c..

Come si può notare, la visibilità dei vasi è notevolmente migliorata e tale apparenza è confermata dai valori numerici dei pixel che differiscono rispetto ai precedenti (si noti la diminuzione dei valori della tabella nelle celle con sfondo più scuro).

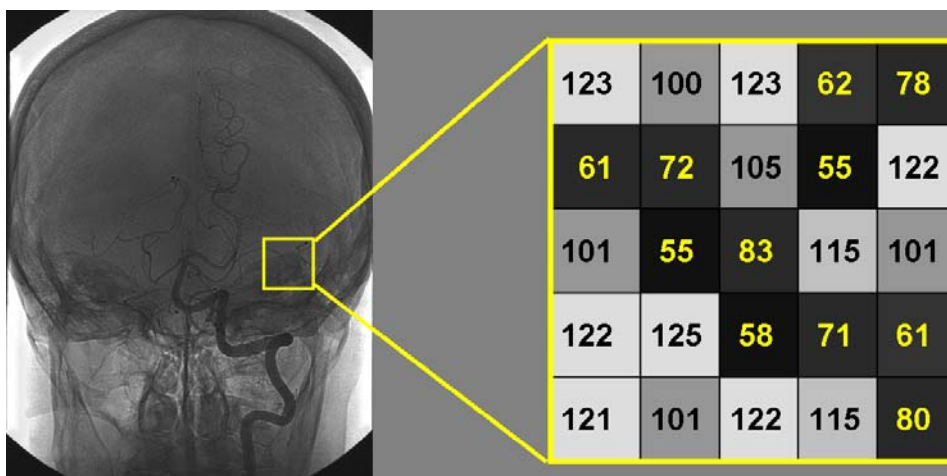


Immagine ottenuta dopo l'immissione di mezzo di contrasto e rappresentazione della matrice di un piccolo dettaglio con valori numerici dei pixels.

Per evidenziare maggiormente il tratto interessato dal flusso di mezzo di contrasto occorrerebbe concentrarsi su ciò che è variato tra l'immagine della maschera e l'immagine ottenuta dopo la sottrazione (figura sotto).

La disponibilità dei valori numerici permette di evidenziare il mezzo di contrasto tramite una sottrazione tra le matrici delle due immagini, cioè sottraendo i valori numerici dei pixel che si trovano nelle stesse posizioni (*pixel omologhi*).

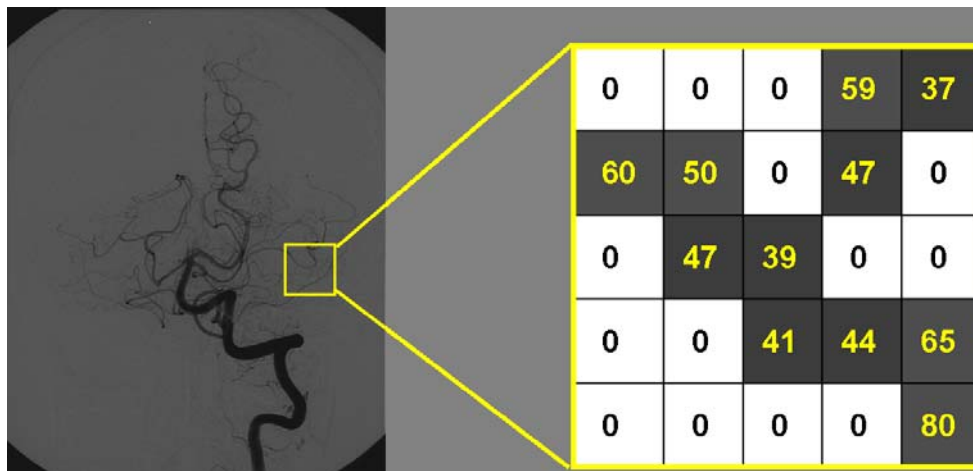
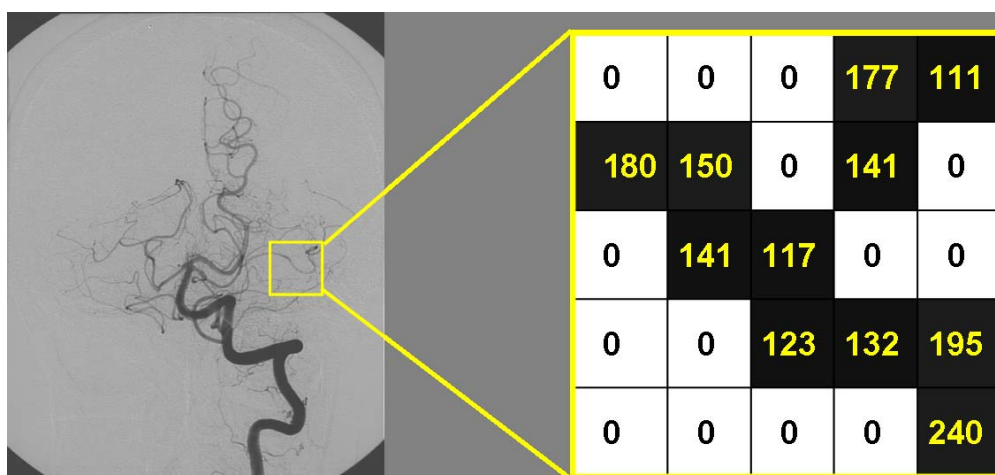
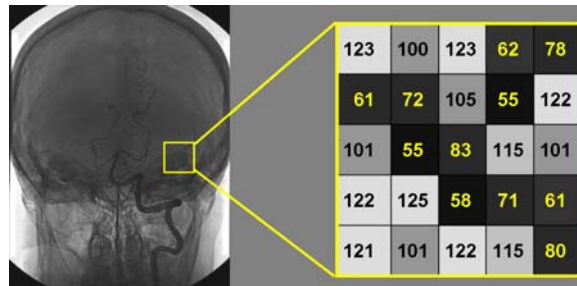
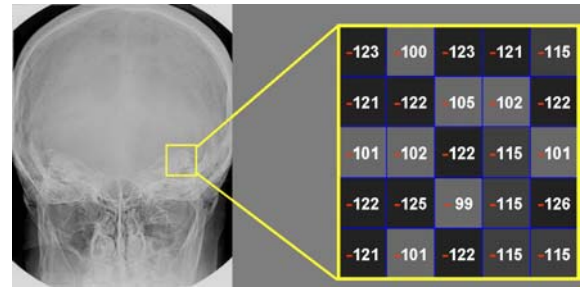
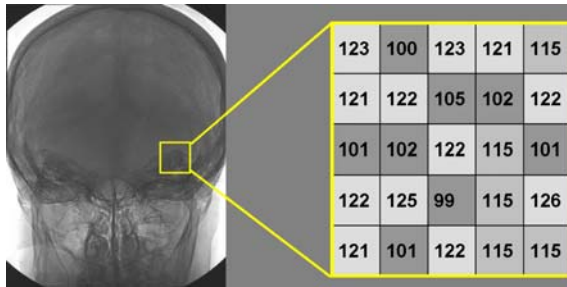


Immagine ottenuta dopo la sottrazione, l'amplificazione e rappresentazione della matrice di un piccolo dettaglio con valori numerici dei pixels. In quest'ultimo esempio è stata applicata una inversione dei livelli di grigio, pertanto il valore 0 corrisponde al bianco e il 255 al nero.

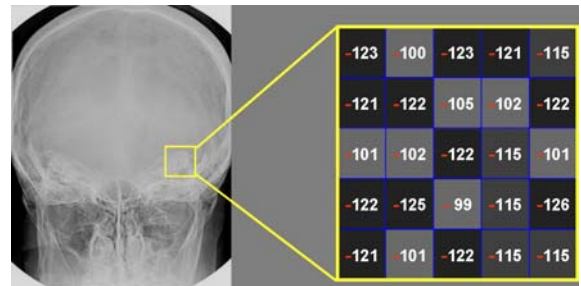
Una volta effettuata la sottrazione è possibile amplificare la visibilità dei pixel aventi valore diverso da zero moltiplicando per una costante (nell'esempio per un fattore 3). Il risultato finale è mostrato nella figura sottostante.



Per migliorare ulteriormente la qualità dell'immagine risultante, tutti i sistemi angiografici prevedono anche una trasformazione logaritmica dei valori dei pixel, per aumentare la correlazione tra i dati dell'immagine sottratta finale e la concentrazione di mezzo di contrasto.



+



Riassumendo:

- 1) Immagine con rappresentazione della matrice di un piccolo dettaglio con valori numerici delle intensità di grigio dei pixels;
- 2) Trasformazione dell'immagine con segno negativo dei valori numerici (maschera);
- 3) Immagine ottenuta dopo l'immissione di mezzo di contrasto;
- 4) Sottrazione (somma) delle matrici numeriche delle due immagini;
- 5) Amplificazione del contrasto moltiplicando i valori della matrice dell'immagine sottratta per una costante "K" (nell'esempio "K" = 3).

4) Tecnica neuroangioradiografica proiettiva.

Le proiezioni radiografiche indispensabili in neuroangioradiografia sono la postero-anteriore (PA) e la latero-laterale (LL), acquisite, generalmente, con 3 fr./sec per 4 sec., 1 fr./sec. per 8 sec. e 0.5 fr./sec. per 6 sec..

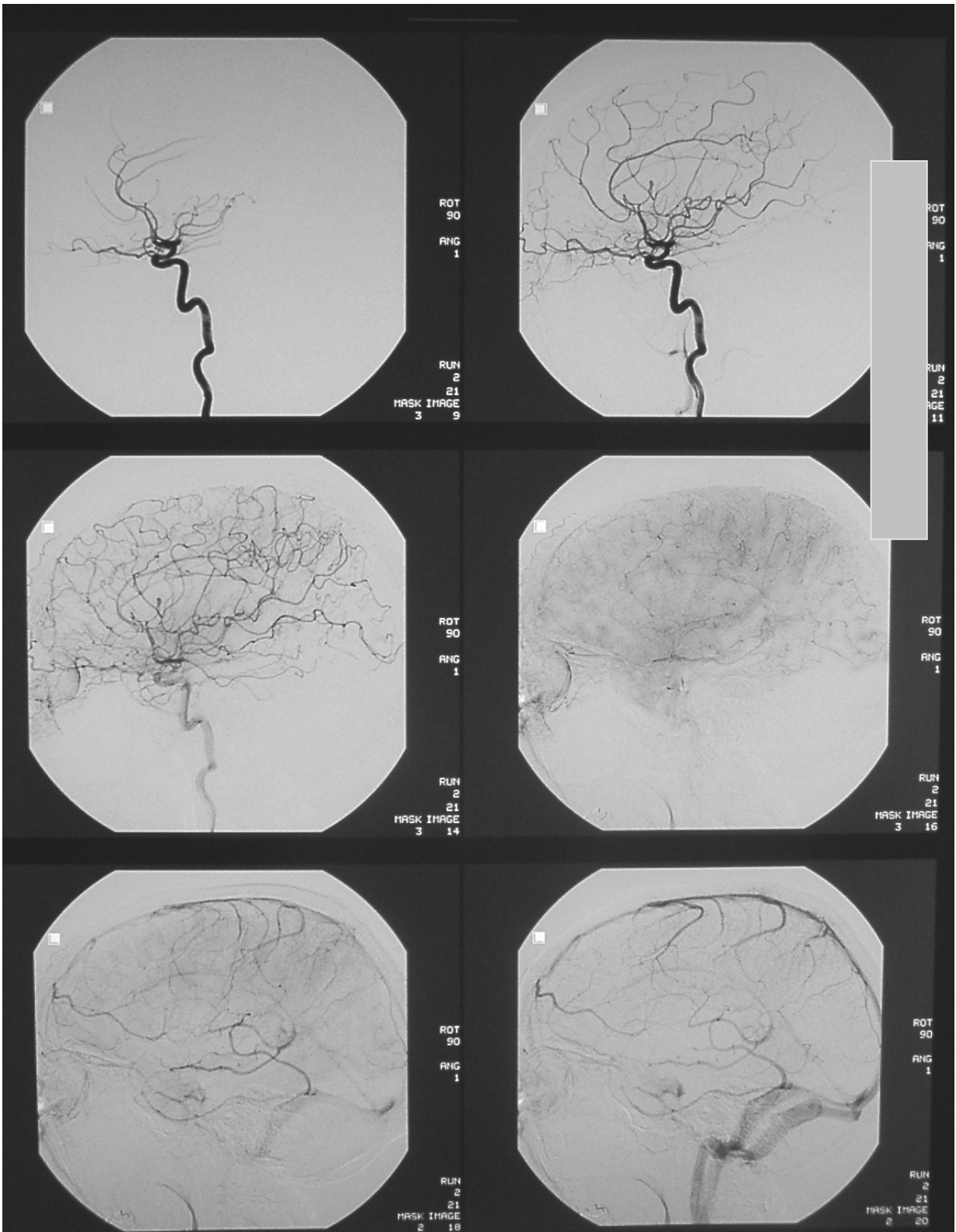


Esempi di sottrazione d'immagine digitale dell'arteria vertebrale e dell'ACI in proiezione LL.

Questo tipo di sequenza seriografica consente di studiare la vascolarizzazione dell'organo durante la fase **arteriosa** precoce e tardiva, la fase **arteriolare** ("parenchimale") e la fase **venosa** precoce e tardiva.

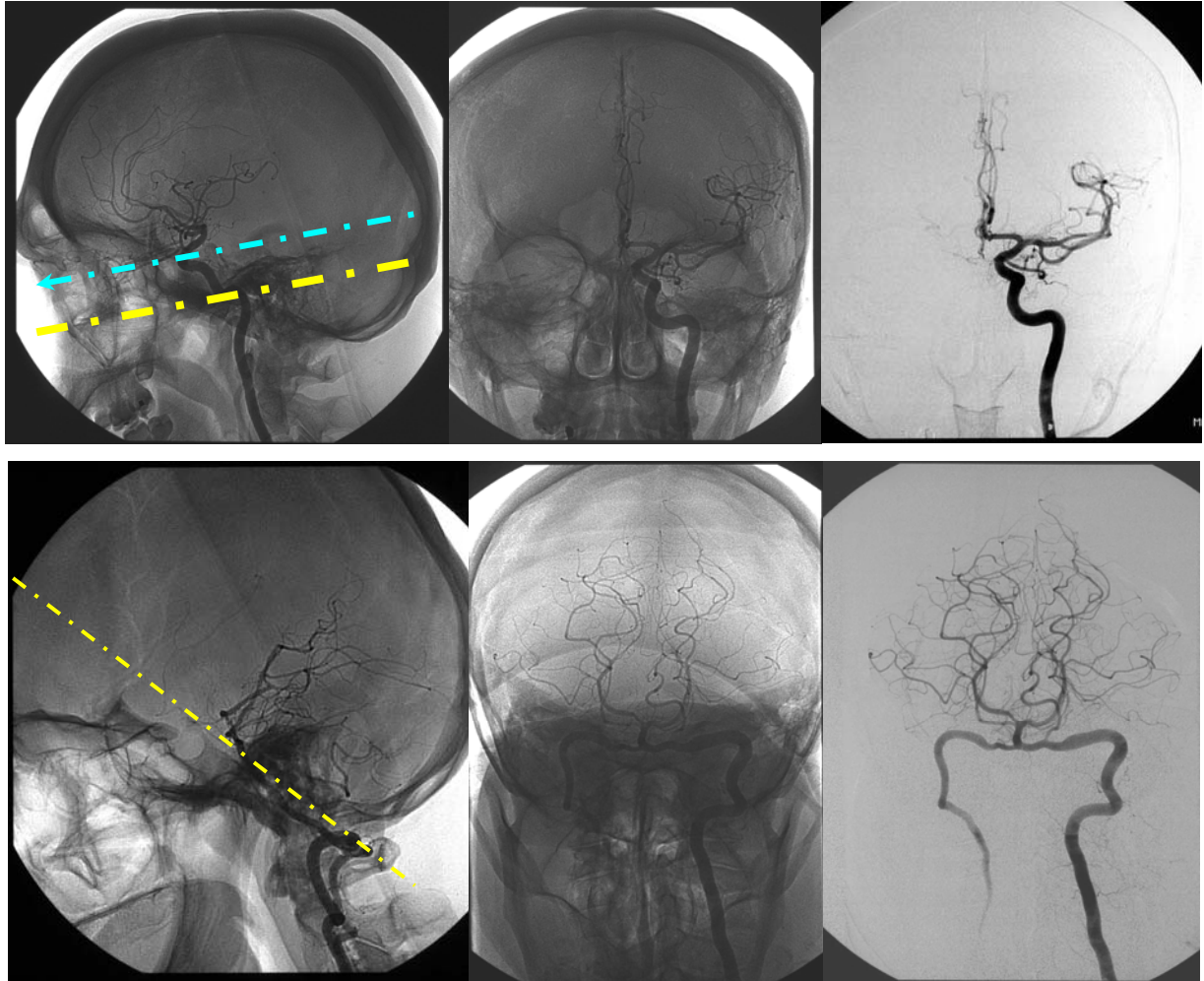
Nel caso di malformazioni vascolari a flusso ematico rapido, per meglio evidenziare le strutture vascolari coinvolte ed afferenti alla M.A.V., si effettuano seriografie nella sola fase arteriosa precoce con cadenza molto rapida, fino a 6-8 fr./sec.

La proiezione PA (occipito-fronte naso), per il circolo encefalico anteriore, ha il raggio centrale del fascio Rx parallelo al piano di Francoforte (piano che unisce i margini inferiori dei profili orbitari al margine superiore dei meati acustici esterni), con incidenza alla protuberanza occipitale esterna ed emergenza a livello della glabella: il bordo superiore delle rocche petrose si proietta a livello della metà circa delle orbite.



Angioradiografia DSA della ACI acquisita in proiezione LL, con 3 fr./sec per 4 sec., 1 fr./sec. per 8 sec. e 0.5 fr./sec. per 6 sec..

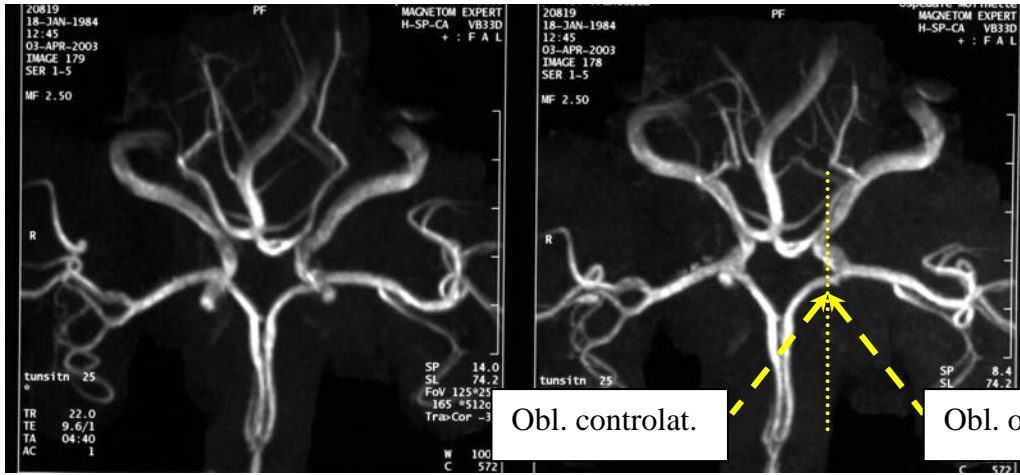
Questo tipo di sequenza seriografica consente di visualizzare l'albero arterioso nella fase arteriosa precoce e tardiva, nella fase arteriolare e nella fase venosa precoce e tardiva.



Proiezioni PA per il circolo encefalico anteriore (ICA) e posteriore (art. vertebrale).

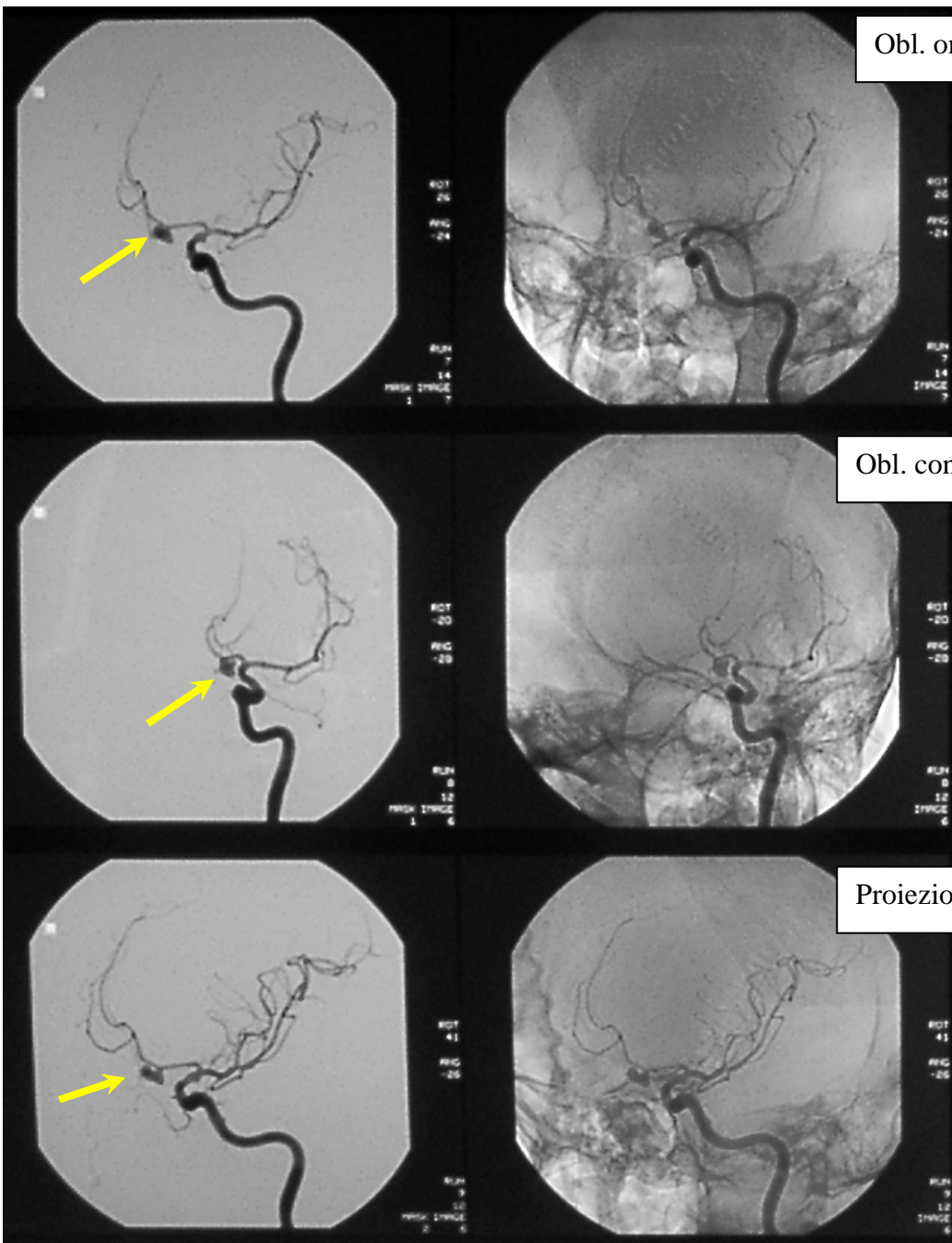
La proiezione PA, per il circolo encefalico posteriore, si ottiene inclinando il sistema tubo radiogeno-detettore in modo da ottenere una proiezione (semiassiale) sub occipite-frontale: il raggio centrale è obliquo in senso caudo-craniale di circa 30° rispetto al piano verticale (proiezione di Worms-Bretton) e incide a livello del forame occipitale con emergenza a livello del bregma.

Per evidenziare meglio una struttura vascolare (aneurismi, M.A.V., ...), spesso si ricorre a proiezioni oblique, omo e contro-laterale a 25°-30°; altre volte, in previsione d'interventi terapeutici (embolizzazioni), per meglio documentare la lesione, è necessario effettuare numerose altre riprese angiografiche su un singolo asse arterioso e con angolazioni del fascio scelte man mano; per questo motivo bisogna sempre cercare le migliori condizioni operative (medico) e protezionistiche (medico e tecnico) al fine di ottenere una buona visualizzazione dei dettagli anatomici impiegando poco m.d.c. ed una minor dose di radiazioni. Quando è possibile, a questo scopo, s'impiega la tecnica rotatoria del sistema tubo radiogeno-detettori.



Obl. controlat.

Obl. omolat.



Obl. omolat.

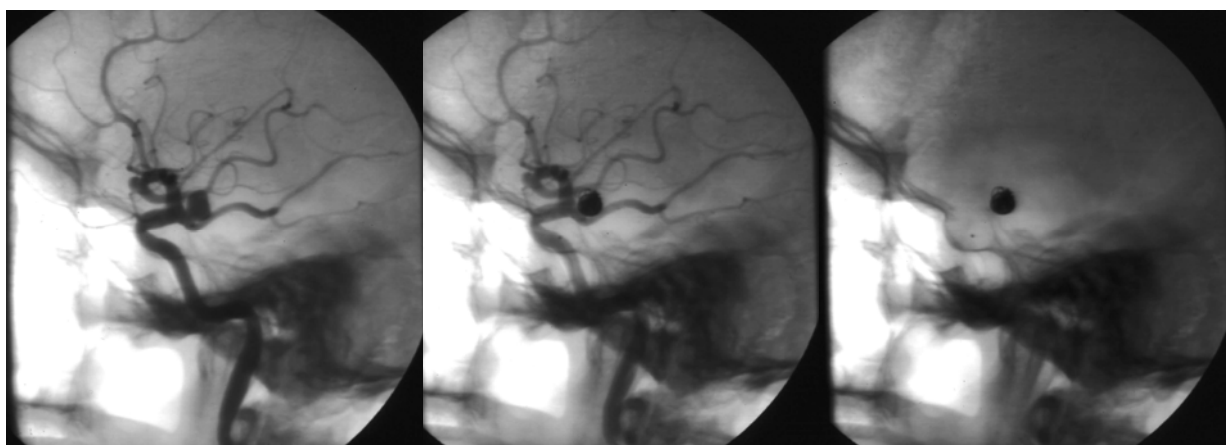
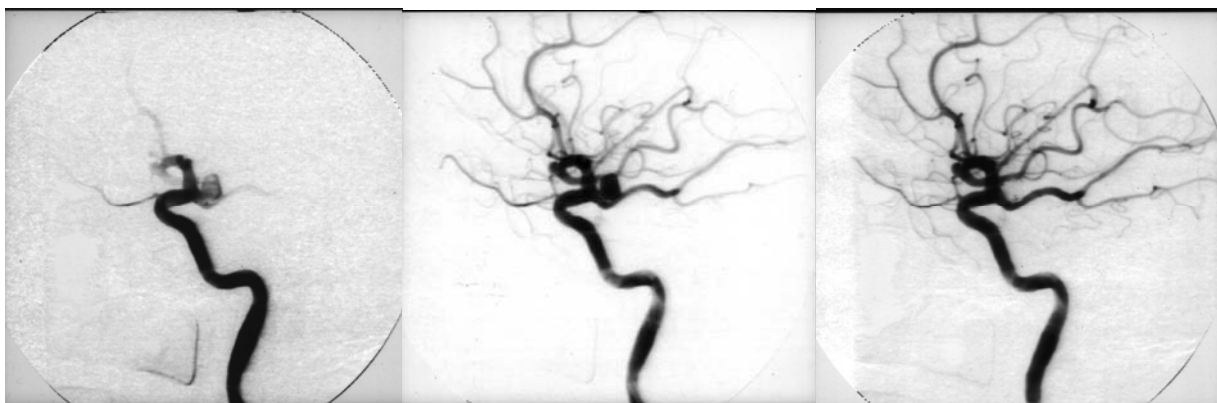
Obl. controlat.

Proiezione in più

Spesso, durante la procedura neuroangiografica terapeutica (o interventistica), la lesione da trattare viene raggiunta mediante l'attivazione del "roadmapping" (o Trace Subtract Fluoroscopy), che consiste in una radioscopia digitale con sottrazione d'immagine; la sottrazione è ottenuta mediante una "maschera" che contiene l'albero vascolare iniettato (nella fase scelta dal medico neuroradiologo), sovrapposta con metodo digitale alle immagini radioscopiche. Affinché il roadmapping sia utile allo scopo, il paziente ed il tavolo radiologico del paziente non devono essere mossi, altrimenti non vi sarà più corrispondenza fra l'immagine di roadmap e quella radioscopica.

Nelle vecchie apparecchiature, per ottenere la roadmap, il compito del tecnico di consolle era fondamentale perchè coordinava le diverse fasi (acquisizione maschere, dare il "via" al medico per l'iniezione e, in fine, elaborazione dell'immagine finale che rimaneva sul monitor della scopia); le moderne apparecchiature consentono al medico di avviare automaticamente la procedura, direttamente dalla consolle del lettino angiografico. L'immagine finale è già ottimale e non richiede post processing.





Durante l'esecuzione dell'angiografia e, ancor più durante l'intervento terapeutico, le serie acquisite (runs), devono essere facilmente individuabili attraverso una nomenclatura pre e post intervento. In questo modo se ne garantisce il reperimento nel più breve tempo possibile per la visione da parte del medico neuroradiologo: questo è uno dei compiti del tecnico radiologo che opera alla consolle dell'angiografo.

Quando l'indagine è terminata, il paziente viene preparato per essere trasferito al reparto di provenienza quindi, si allestisce la sala angiografica per accettare un eventuale altro paziente e si elaborano, in post processing, le immagini che verranno stampate ed archiviate su disco ottico.

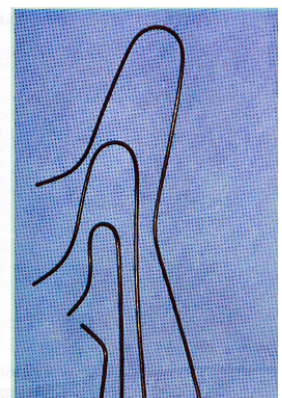
Sulla richiesta della procedura, il tecnico dovrà inoltre segnalare quali vasi sono stati indagati e l'eventuale trattamento eseguito.

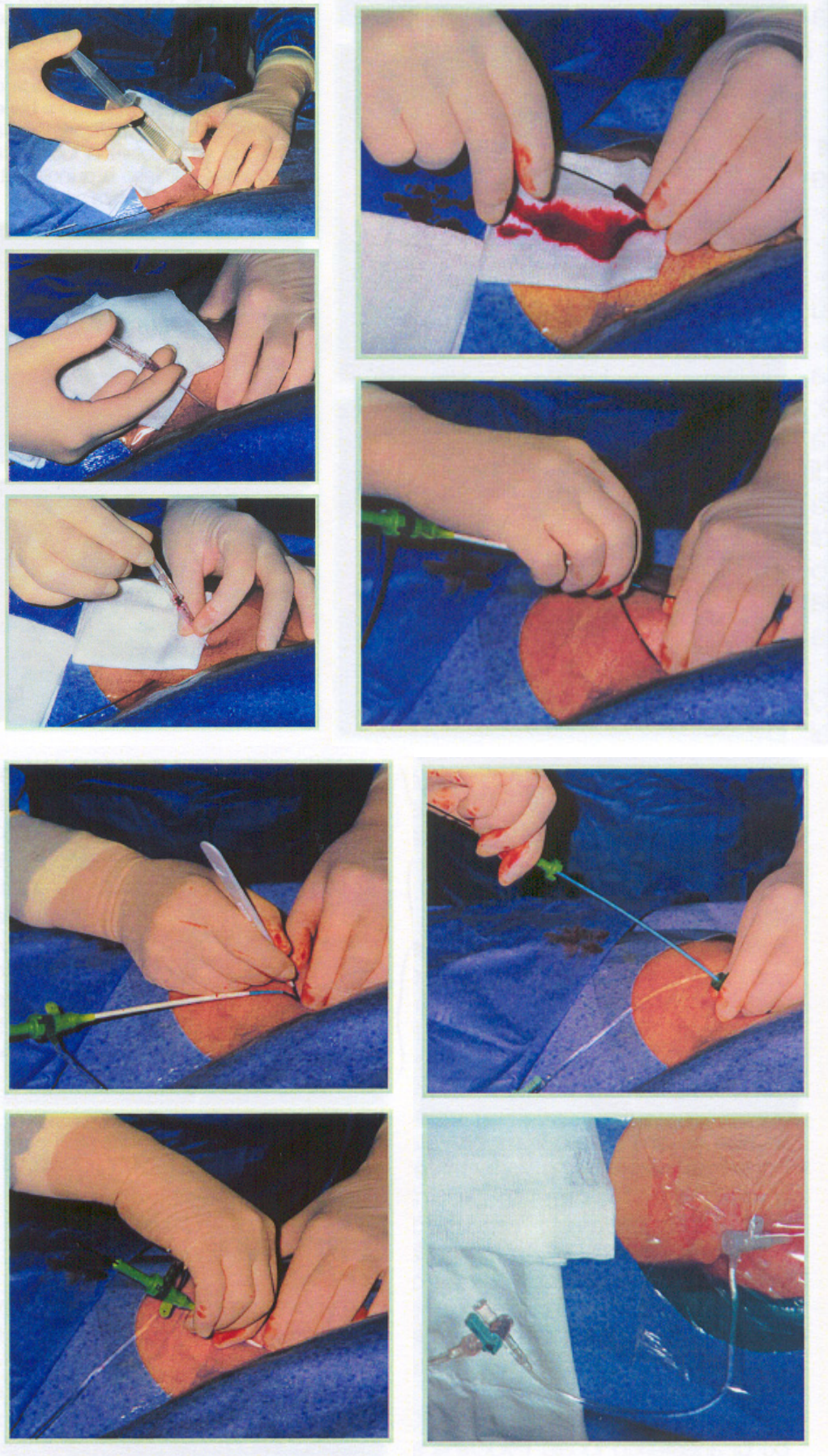
Nelle indagini a carattere d'urgenza e al di fuori del normale orario di lavoro, quando non è presente il personale infermieristico, è compito del tecnico sanitario di radiologia medica collaborare alla preparazione della sala angiografica e all'approntamento del materiale necessario all'indagine neuroangiografica (tavolo paziente su cui si dispongono i presidi e la biancheria che serviranno per l'esame angiografico - tutti rigorosamente sterili).

Approntamento del materiale necessario all'indagine neuroangioradiografica diagnostica e terapeutica.

Per mezzo del catetere, nel corso dell'esame neuroangioradiografico si viene a creare una connessione diretta tra il sistema vascolare, l'organo irrorato e l'ambiente esterno; per questo è assolutamente necessario lavorare in condizioni di asepsi, garantita allestendo un campo sterile (tavolo paziente) su cui si dispongono i presidi e la biancheria utili all'indagine; essi dovranno essere manipolati in modo da conservare l'assoluta sterilità. I materiali da disporre sono:

1. introduttore divaricatore;
2. bisturi a lama appuntita;
3. ago mandrinato;
4. catetere e guida;
5. rubinetto a 2-3 vie;
6. deflussore da collegare alla sacca di fisiologica contenente 3000 unità/litro di eparina;
7. siringhe per anestesia locale, iniezione di fisiologica per il "lavaggio" dei vasi e del catetere, iniezione del m.d.c. effettuata manualmente per modulare la pressione d'iniezione in funzione della velocità del circolo, del calibro dei vasi e, soprattutto, per interrompere l'iniezione e ritirare il catetere nel caso di sopravvenuti segni di insofferenza da parte del paziente;
8. ciotole di diverse dimensioni per raccogliere i liquidi, la soluzione fisiologica e il m.d.c.;
9. una vaschetta contenente soluzione fisiologica con eparina necessaria per lavare e contenere catetere e guida.





Per quanto riguarda i materiali necessari alla neuroangioradiografia terapeutica, oltre a quelli per la fase diagnostica, si dispone di una vasta gamma di microcateteri e micro-guide diversi per caratteristiche specifiche che di volta in volta privilegiano scorrevolezza, stabilità, resistenza all'inginocchiamento. Le caratteristiche di un microcatetere necessario a raggiungere la sede della lesione e attraverso il quale si rilascino i materiali embolizzanti o disostruttivi, sono:

1. pronta risposta alla spinta di progressione;
2. resistenza all'inginocchiamento;
3. morbidezza;
4. flessibilità;
5. termo-modellabilità dell'estremità distale con conservazione della memoria di curva;
6. stabilità nel rimanere posizionata nella sede scelta.

Generalmente sono costituiti da tre segmenti distinti e saldati in successione (il prossimale rigido, l'intermedio morbido e il distale morbidissimo) con all'estremità distale un repere radiopaco che consente di poter essere seguito in radioscopia.

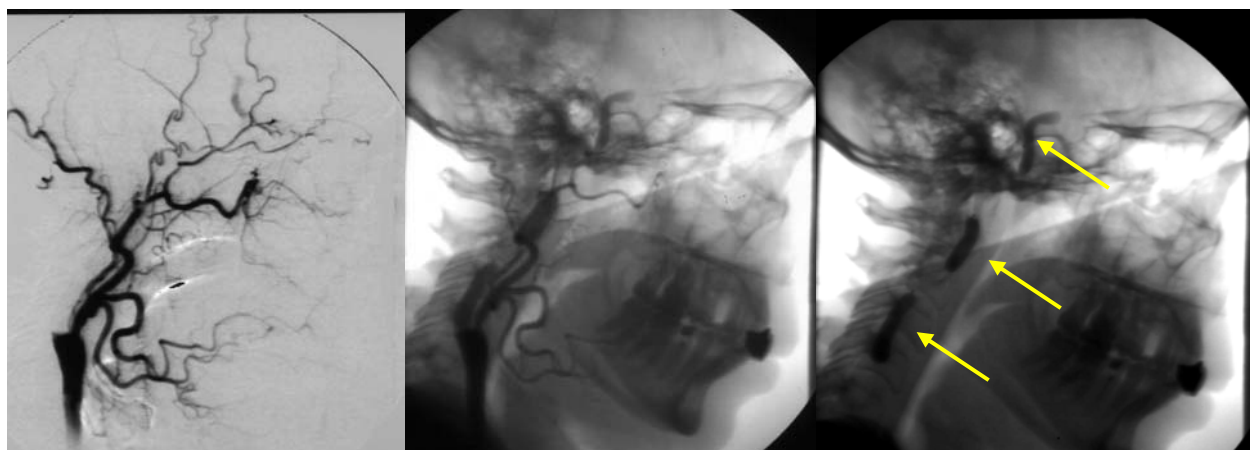
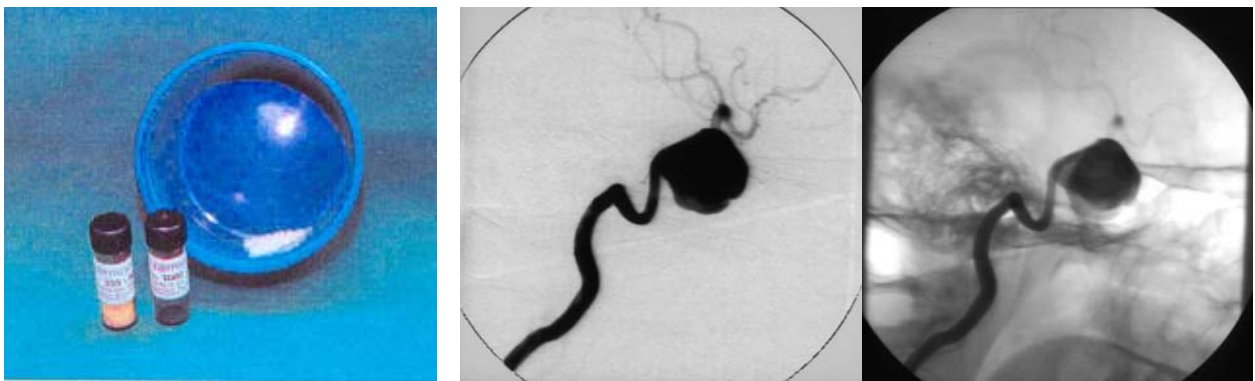
Gli agenti utilizzati in neuroangioradiografia terapeutica sono:

1. le spirali di Guglielmi (GDC) costituite da un filamento di platino saldato ad un filo d'acciaio che, una volta in sede, viene staccato dall'operatore mediante meccanismo di elettrolisi;
2. la colla istoacrilica utilizzata per il trattamento embolizzante degli angiomi, costituita dal N-butil-cianoacrilato che, in preparazione è liquido e, una volta a contatto con il sangue, polimerizza molto rapidamente solidificandosi (la colla è radiotrasparente e, per renderla radiopaca viene mescolata con Lipiodol che ne rallenta anche la polimerizzazione, permettendo di controllarne la velocità di solidificazione e poter variare la concentrazione della sostanza che deve essere adeguata alle caratteristiche della malformazione);
3. gli emboli corpuscolari, microsferi di polivinilalcol (PVA) utilizzate per la devascularizzazione preoperatoria dei processi espansivi (POS) con ricca vascolarizzazione; inducono trombizzazione dei vasi intratumorali e la loro azione è transitoria (l'intervento chirurgico deve realizzarsi in breve tempo);

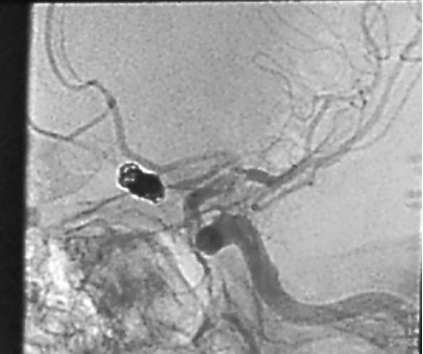
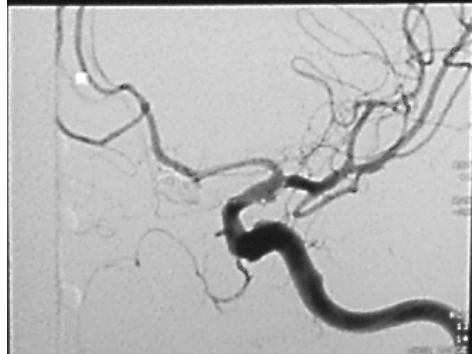
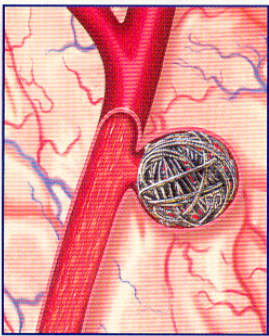
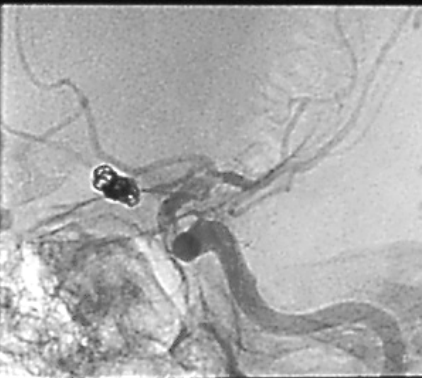
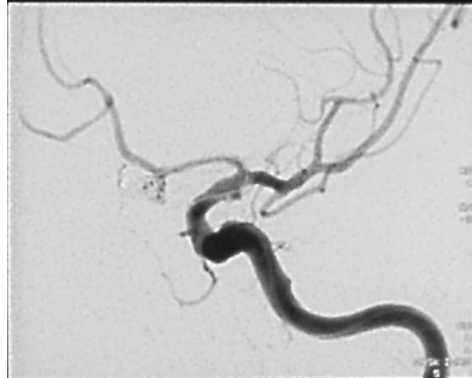
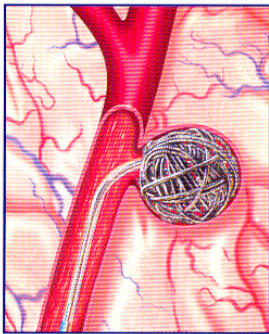
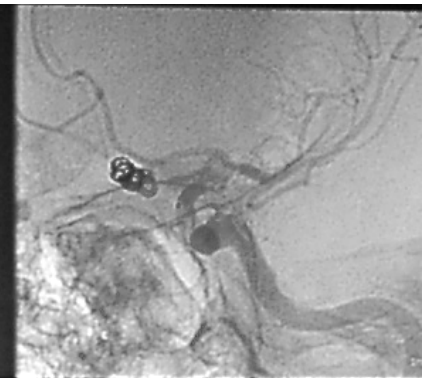
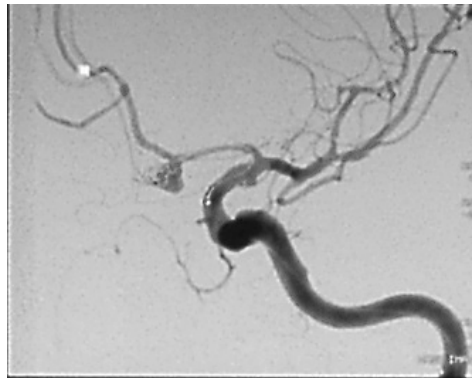
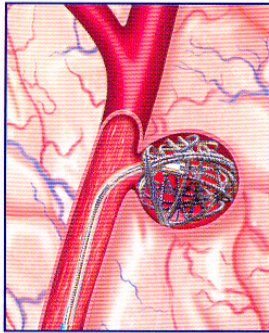
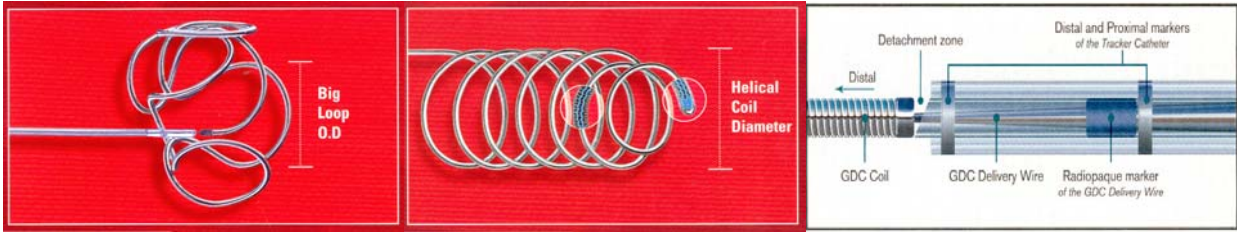
4. i palloncini, impiegati per occludere definitivamente un grosso vaso alla base cranica (generalmente per il trattamento degli aneurismi giganti, fistole dirette carotico-cavernoso).



Istoacril + Lipiodol: una volta a contatto con il sangue polimerizza solidificandosi rapidamente



Embolizzazione con palloncini: vengono utilizzati per occludere definitivamente un vaso. Il palloncino viene dilatato con m.d.c. iodato idrosolubile radiopaco che consente controlli a distanza mediante radiografie.



Embolizzazione di aneurisma con spirali di Guglielmi (GDC): il filamento della spirale è costituito da leghe di platino saldato ad un filo d'acciaio e staccato mediante meccanismo di elettrolisi.