



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ CTA ΚΑΙ MRA»

«COMPARATIVE ASSESSMENT OF CTA AND MRA»

υπό

ΘΕΟΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης και Ακτινοπροστασία»

Τριμελής επιτροπή:

- 1) Τσούγκος Ιωάννης, Καθηγητής ΤΙ ΠΘ
- 2) Περισυνάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΤΙ Παν. Κρήτης
- 3) Βλυχού Μαριάννα, Καθηγήτρια ΤΙ ΠΘ

Λάρισα, 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	Σελ. 4
Περίληψη	Σελ. 6
Abstract	Σελ. 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ I : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελ. 8
1.1 Αγγειογραφία	Σελ. 8
1.2 CTA	Σελ. 9
1.3 MRA	Σελ. 10
1.4 Αντενδείξεις	Σελ. 13
1.5 Απεικόνιση και μέλλον	Σελ. 14
1.6 Κατευθυντήριες οδηγίες	Σελ. 14
1.7 Στόχος μελέτης	Σελ. 15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ II: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	Σελ. 15
2.1 Ερευνητικό ερώτημα	Σελ. 15
2.2 Διαδικασία αναζήτησης βιβλιογραφίας	Σελ. 15
2.3 Αξιολόγηση και επιλογή μελετών	Σελ. 15
2.4 Ανάλυση δεδομένων	Σελ. 16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ III: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	Σελ. 17
3.1 Διαθεσιμότητα, χρόνος σάρωσης και κόστος	Σελ. 17
3.2 Ποιότητα εικόνας και διαγνωστική αξία	Σελ. 17
3.3 Εμπειρία και χρήση οδηγιών	Σελ. 18
3.4 Αντενδείξεις και παράγοντες κινδύνου	Σελ. 19
3.5 Αρχική εξέταση ή επανέλεγχος	Σελ. 19
3.6 Παθολογία	Σελ. 20
3.7 Προτιμώμενη μέθοδος	Σελ. 20
3.7 Επιλογή της μεθόδου	Σελ. 20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	Σελ. 21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Σελ. 26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	Σελ. 27

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Αξονική Τομογραφία Αγγειογραφία - Computed Tomography Angiography (CTA)

Μαγνητική Τομογραφία Αγγειογραφία - Magnetic Resonance Angiography (MRA)

Ψηφιακή Αφαιρετική Αγγειογραφία - Digital Subtraction Angiography (DSA)

Μέσα Σκιαγραφικής Αντίθεσης - ΜΣΑ

Μαγνητική Αγγειογραφία Εισροής - Time of Flight (TOF)

Μαγνητική Αγγειογραφία αντίθεσης φάσης - phase contrast mra (PC- MRA)

Ο Λόγος σήματος προς θόρυβο - Signal-to-noise ratio (SNR)

Νεφρογενής συστηματική ίνωση - Nephrogenic systemic fibrosis (NSF)

Ρυθμός συστηματικής διήθησης - glomerular filtration rate (GFR)

Quiescent-Inflow Single-Shot MRA (QISS MRA)

Fresh Blood imaging – (FBI)

Field of view - (FOV)

Μέσα Σκιαγραφικής Αντίθεσης - ΜΣΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να τον ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και διευθυντή του μεταπτυχιακού προγράμματος κ. Ιωάννη Τσούγκο, Αναπληρωτή καθηγητή Ιατρικής Φυσικής, του τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στους φίλους μου και ιδιαίτερα στη Κυριακή, ένα μεγάλο ευχαριστώ που ήταν εκεί όποτε χρειάστηκα την υποστήριξη και τη βοήθεια τους ώστε να αντιμετωπίσω τα άγχη και τις ανησυχίες μου σχετικά με το μεταπτυχιακό και την πορεία της εργασίας μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους γονείς μου και στον αδερφό μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους, που με στήριξαν και συνεχίζουν να το κάνουν καθημερινά και με τη δική τους συμβολή είμαι σε θέση να θέτω και να πραγματοποιώ τους στόχους μου. Χωρίς αυτούς η πραγματοποίηση του μεταπτυχιακού καθώς και της διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

Στους γονείς μου, Θανάση και Έφη,
στους εμπνευστές της ζωής μου...

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία έγινε ανασκόπηση παλαιότερων μελετών ώστε να αξιολογήσουμε μέσα από αυτές ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της απεικονιστικής μεθόδου. Η έρευνα αναφέρεται στη συγκριτική αξιολόγηση των δύο απεικονιστικών τεχνικών CTA (Υπολογιστική Τομογραφία Αγγειογραφία ή αξονική αγγειογραφία) και MRA (Αγγειογραφία Μαγνητικού Συντονισμού ή μαγνητική αγγειογραφία) που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των αιμοφόρων αγγείων στο σώμα. Μέσα από μηχανισμούς αναζήτησης ανασύραμε μελέτες που στηρίζονταν σε συγκεκριμένες λέξεις κλειδιά που δώσαμε εμείς. Ύστερα από εξαιρέσεις κρατήσαμε αυτές που πληρούσαν τα κριτήρια που είχαμε θέσει. Μελετήθηκαν, αξιολογήθηκαν και εξαγάγαμε αποτελέσματα σύγκρισης.

Η CTA χρησιμοποιεί ακτίνες X για την παραγωγή εικόνων ενώ η MRA μαγνητικά κύματα, άρα δεν χρησιμοποιεί ιονίζουσα ακτινοβολία, καθιστώντας την ασφαλέστερη επιλογή για τους ασθενείς, ειδικά εκείνους που μπορεί να είναι ευαίσθητοι στην ακτινοβολία.

Η CTA χρησιμοποιεί ιωδιούχα σκιαγραφικά, ενώ η MRA χρησιμοποιεί σκιαγραφικά με βάση το γαδολίνιο. Τα ιωδιούχα σκιαγραφικά που χρησιμοποιούνται στη CTA έχουν υψηλότερο κίνδυνο αλλεργικών αντιδράσεων, ενώ τα σκιαγραφικά με βάση το γαδολίνιο που χρησιμοποιούνται στην MRA σχετίζονται με τη νεφρογενή συστηματική ίνωση (NSF). Συνεπώς οι αντενδείξεις είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή μέθοδο απεικόνισης. Είδαμε ότι η CTA είναι μια σχετικά γρήγορη διαδικασία, που διαρκεί μόνο λίγα λεπτά για να ολοκληρωθεί. Οπότε και ο χρόνος σάρωσης όπως και το κόστος είναι παράγοντες που επηρεάζουν.

Τελικά ο παράγοντας που επηρεάζει στο μεγαλύτερο βαθμό την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης μεταξύ της CTA και της MRA είναι το κλινικό ζήτημα είναι ο παράγοντας που επηρεάζει στο μεγαλύτερο βαθμό την επιλογή της μεθόδου. Οι περισσότερες μελέτες ως κύριο θέμα την παθολογία και μέσα στην ανάλυση αυτής υπάρχουν και οι εξετάσεις εκλογής. Αυτό δείχνει ότι η παθολογία είναι αυτή που μας οδηγεί στη μέθοδο απεικόνισης.

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας μας δίνει συνέχεια νέα δεδομένα. Αυτό έχει ως συνέπεια οι παράγοντες που μας δίνουν τη μέθοδο απεικόνισης να μεταβάλλονται αναλόγως των δεδομένων. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία θα επηρεάσει επίσης την προτιμώμενη μέθοδο στο μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: «CTA», «MRA», «TOF», «Iodinated contrast» « Dynamic examinations »

ABSTRACT

In this essay, a review of previous studies was done to evaluate the factors that influence the choice of the imaging method. The research refers to the comparative evaluation of the two imaging techniques CTA (Computed tomography angiography or CT angiography) and MRA (Magnetic resonance angiography or magnetic angiography), used to image the blood vessels in the human body. We retrieved studies that were based on specific keywords that were provided. After exceptions, we kept those that met the criteria we had set. They were studied, evaluated and we extracted comparison results.

CTA uses X rays to produce images, while MRA uses magnetic field, hence no ionizing radiation, making it a safer option for patients, especially those who may be sensitive to radiation.

CTA uses iodinated contrast agents, while MRA uses gadolinium-based contrast agents. Iodinated contrast agents used in CTA have a higher risk of allergic reactions, while gadolinium-based contrast agents used in MRA are associated with nephrogenic systemic fibrosis (NSF). Contraindications are therefore a factor influencing the choice of imaging method.

We have seen that the CTA is a relatively quick process, taking only a few minutes to complete. So, both the scanning time and the cost are influencing factors.

Ultimately the factor that most influences the choice of imaging modality between CTA and MRA is the clinical issue. Most studies have pathology as the main subject and within this analysis there are also the selection exams. This shows that it is the pathology that leads us to the imaging method.

The continuous technological developments constantly gives us new data. The inclusion of artificial intelligence into radiology will also influence the preferred modality in the future.

Keywords: «CTA», «MRA», «TOF», «Iodinated contrast» « Dynamic examinations »

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιατρική απεικόνιση έχει επωφεληθεί από την έκρηξη της καινοτομίας τα τελευταία 50 χρόνια. Η πρόοδος στην τεχνολογία απεικόνισης έχει επεκτείνει το πεδίο της αγγειογραφίας για να συμπεριλάβει μη επεμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τεχνολογίες αξονικής τομογραφίας και μαγνητικής τομογραφίας.

1.1 Αγγειογραφία

Αγγειογραφία είναι η απεικόνιση των ανατομικών και δομικών λεπτομερειών του αγγειακού συστήματος που περιγράφει το εσωτερικό τοίχωμα του αγγείου και δείχνει τη ροή μέσω του αυλού. Πραγματοποιείται με τη χρήση πολλών απεικονιστικών μεθόδων όπως είναι η CT, η MRI, η ψηφιακή αφαιρετική αγγειογραφία (DSA) και το υπερηχογράφημα. Η CTA (αξονική τομογραφία αγγειογραφία ή Αξονική Αγγειογραφία) και η MRA (Αγγειογραφία Μαγνητικού Συντονισμού ή Μαγνητική

) είναι μη επεμβατικές τεχνικές, όπου η CTA εκθέτει τους ασθενείς σε ιοντίζουσα ακτινοβολία και επιβάλλεται η χρήση ιωδιούχου μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης (ΜΣΑ), ενώ η MRA βασίζεται σε μαγνητικό συντονισμό, δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία, καθιστώντας την ασφαλέστερη επιλογή για τους ασθενείς, ειδικά εκείνους που μπορεί να είναι ευαίσθητοι στην ακτινοβολία και δεν επιβάλλεται η χρήση σκιαγραφικού μέσου -γαδολινίου¹.

Και οι δύο απεικονιστικές μέθοδοι, CTA και MRA μπορούν να βοηθήσουν στην αξιολόγηση πολλών αγγειακών παθήσεων, συμπεριλαμβανομένης της διαστολής των αγγείων (ανευρύσματα), της ρήξης των αγγείων (ανατομή), των θρόμβων αίματος (θρόμβωση) και των μη φυσιολογικών συνδέσεων μεταξύ των αιμοφόρων αγγείων (αρτηριοφλεβικά συρίγγια). Ο γιατρός θα καθορίσει ποια μελέτη είναι η καταλληλότερη, καθώς η καθεμία μπορεί να παρέχει ελαφρώς διαφορετικές πληροφορίες.

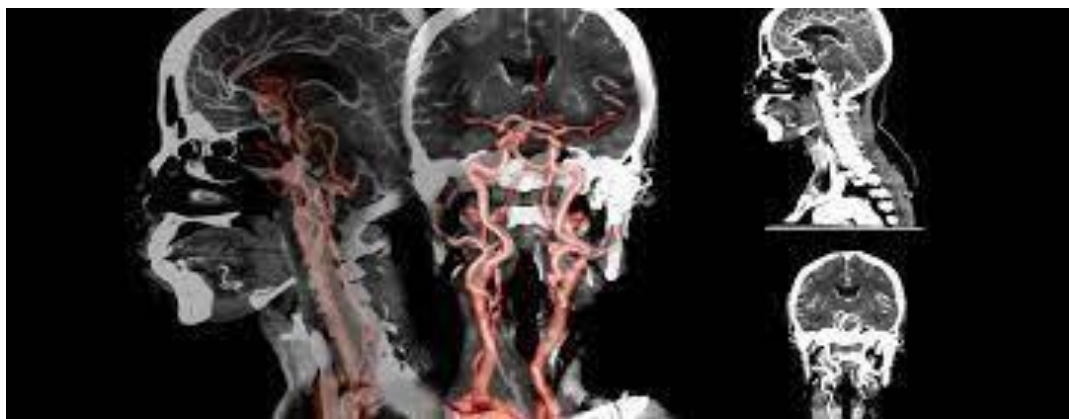
1.2 CTA

Η αξονική τομογραφία αγγειογραφίας ή αξονική αγγειογραφία (CTA) είναι ένα είδος εξέτασης αξονικής τομογραφίας που απαιτεί τη χρήση μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης και αυτό πραγματοποιείται με την τοποθέτηση μιας ενδοφλέβιας γραμμής (IV) στον βραχίονα. Μέσω αυτής γίνεται η έγχυση του ιωδιούχου σκιαγραφικού στα αιμοφόρα αγγεία ενώ ο ασθενής υποβάλλεται σε σάρωση (Εικόνα 1). Πριν από την εξέταση πρέπει να έχουμε διασφαλίσει τη φυσιολογική νεφρική λειτουργία του εξεταζόμενου, επειδή υπάρχει κίνδυνος η σκιαγραφική ουσία να επηρεάσει τη νεφρική λειτουργία.

Η CTA έχει αρκετά πλεονεκτήματα ως ιατρική τεχνική απεικόνισης. Έχει υψηλή ανάλυση δίνοντας μας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος, το σχήμα και τη θέση των αγγείων καθώς και τυχόν ανωμαλίες αυτών. Είναι μια γρήγορη διαδικασία, που διαρκεί μόνο λίγα λεπτά και αυτό τη καθιστά μια εξαιρετική επιλογή για ασθενείς που δεν μπορούν να ανεχθούν μακρές διαδικασίες απεικόνισης ή που χρειάζονται επείγουσα απεικόνιση. Ο αξονικός τομογράφος είναι ευρέως διαθέσιμος στα περισσότερα νοσοκομεία και ιατρικά κέντρα. Είναι μια ανώδυνη μη επεμβατική διαδικασία, που σημαίνει ότι δεν απαιτεί τομές ή χειρουργική επέμβαση. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο επιπλοκών και το καθιστά ασφαλέστερη επιλογή για τους ασθενείς. Τέλος υπάρχει ευελιξία καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση ενός ευρέος φάσματος αιμοφόρων αγγείων σε όλο το σώμα.



Εικόνα 1/ Αξονικός τομογράφος



Εικόνα 2/ CTA head and neck

1.3 MRA

Η μαγνητική αγγειογραφία (magnetic resonance angiography MRA) είναι μια μη επεμβατική τεχνική ιατρικής που χρησιμοποιεί μαγνητικά πεδία και ραδιοκύματα για την παραγωγή λεπτομερών εικόνων των αιμοφόρων αγγείων στο σώμα. Ουσιαστικά είναι το σύνολο των τεχνικών απεικόνισης των αγγείων που στηρίζονται στα φαινόμενα ροής ή στην πλήρωση τους με μέσο σκιαγραφικής αντίθεσης. Στη μαγνητική αγγειογραφία έχουμε απουσία ιοντίζουσας ακτινοβολίας καθιστώντας την ασφαλέστερη επιλογή για ορισμένους ασθενείς.

Η μαγνητική αγγειογραφία αποτελείται από τρισδιάστατες ανασυνθέσεις των υπό εξέταση αγγείων, με δυνατότητα περιστροφής των εικόνων γύρω από οποιονδήποτε άξονα της επιλογής μας. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της μαγνητικής αγγειογραφίας είναι ότι δεν είναι απαραίτητη η χρήση σκιαγραφικής ουσίας. Στη μαγνητική αγγειογραφία προσπαθούμε να μεγιστοποιήσουμε την ένταση σήματος των υπό εξέταση αγγείων και να ελαχιστοποιήσουμε την ένταση των παρακείμενων ιστών. Τα φαινόμενα ροής στο μαγνητικό συντονισμό είναι κυρίως δύο ειδών. Τα φαινόμενα εισροής ή χρόνου πτήσεως (inflow , time - of - flight), και τα φαινόμενα μεταβολής της φάσης (spin – phase). Αυτά τα φαινόμενα ροής μπορούμε να τα αξιοποιήσουμε ώστε η ροή του αίματος να παράγει είτε φωτεινό σήμα με ταυτόχρονη καταστολή του σήματος των ακινήτων ιστών (bright blood MRA), είτε σκοτεινό σήμα συγκριτικά με το σήμα των ακινήτων ιστών (black blood MRA)².

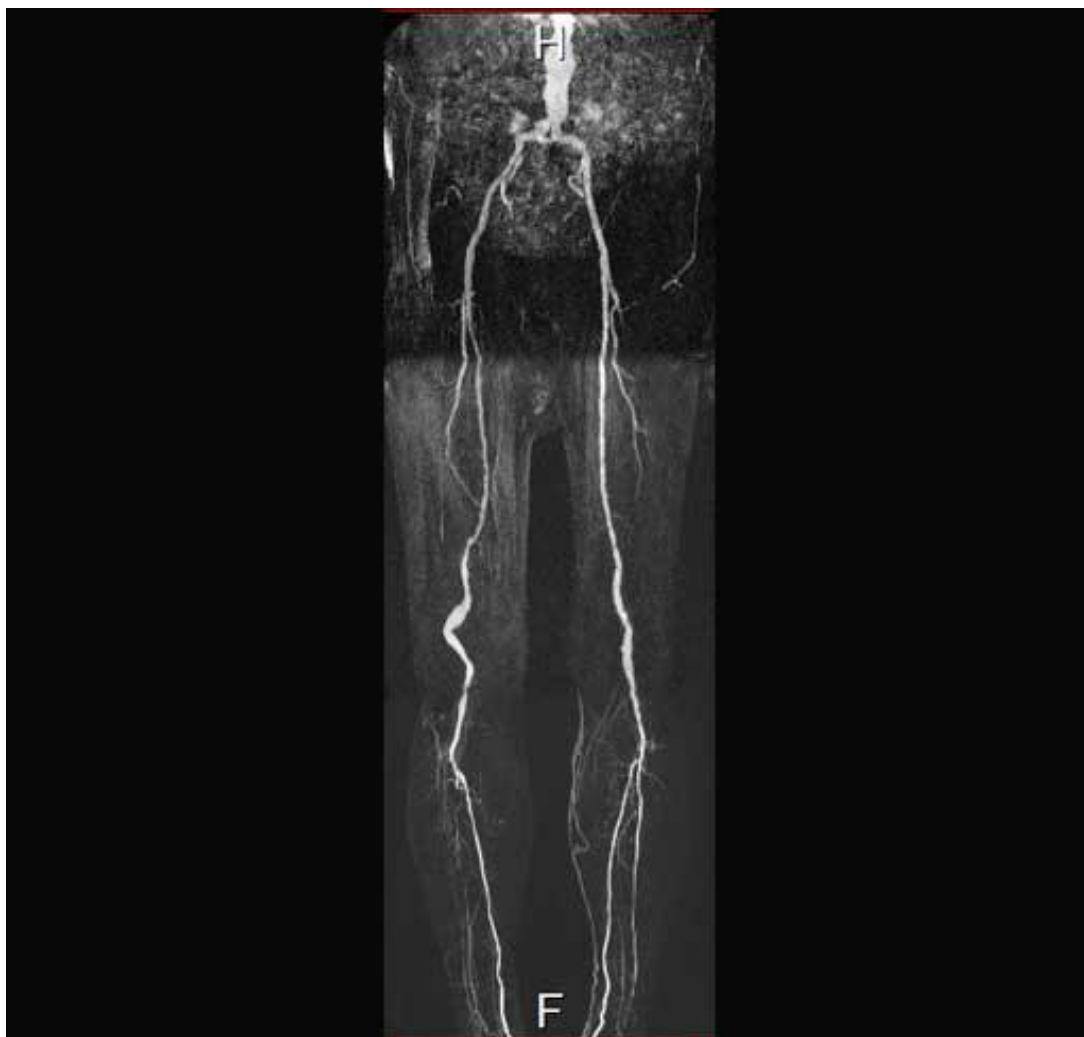
Η τεχνική bright blood MRA υλοποιείται με την τεχνική time of flight (TOF MRA) που βασίζεται στις επιδράσεις των φαινομένων ροής στη διαμήκη μαγνήτιση, με την

τεχνική fresh blood imaging (FBI) που βασίζεται στις διαφορετικές ταχύτητες ροής μεταξύ συστολής και διαστολής και με την τεχνική phase contrast (PC – MRA) που βασίζεται στις επιδράσεις των φαινομένων ροής στην εγκάρσια μαγνήτιση. Στη PC – MRA μπορεί να επιτευχθεί πλήρης καταστολή του σήματος (μηδενισμός) των στατικών ιστών, επιτρέποντας την ανάδειξη μικρών αγγείων με πολύ αργή ροή³.



Εικόνα 3/ 3D TOF MRA εγκεφάλου

Μία άλλη τεχνική μαγνητικής αγγειογραφίας είναι η contrast enhanced (CE-MRA) και στηρίζεται στην εξωγενή αντίθεση που προσφέρει το μέσο σκιαγραφικής αντίθεσης (ΜΣΑ). Η CE- MRA βασίζεται στη μείωση του χρόνου χαλάρωσης T1 που προκαλεί η παρουσία ΜΣΑ, σύμφωνα με την οποία σε ακολουθία GE το αίμα με το σκιαγραφικό αναδεικνύεται φωτεινότερο. (εικόνα 4). Εξαιτίας αυτών δεν παρουσιάζει τεχνικά σφάλματα που οφείλονται στα φαινόμενα ροής όπως είναι η απώλεια σήματος όποτε απομακρύνεται η πιθανότητα ψευδούς εικόνας παθολογίας.



Εικόνα 4/ CE-MRA κάτω άκρων

Συνήθως στην κλινική πράξη η TOF-MRA και PC-MRA χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των αγγείων του εγκεφάλου, ενώ για την αξιολόγηση των αγγείων του αυχένα, του θώρακα της κοιλιάς, της πυέλου και των άκρων χρησιμοποιείται η CE-MRA.

Όλες οι τεχνικές μαγνητικής αγγειογραφίας έχουν και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ξεκινώντας από τη TOF-MRA όπου είναι μια απλή τεχνική MRA με υψηλή διακριτική ικανότητα και εκτελείται σε έναν λογικό χρόνο απεικόνισης η 3D, αντιθέτως έχει μειωμένη ευαισθησία στην αργή ροή, έχει περιορισμό στο μέγεθος και τον προσανατολισμό του όγκου απεικόνισης. Οι ιστοί με μικρό χρόνο χαλάρωσης T1 είναι φωτεινοί όπως είναι οι αιμορραγικές αλλοιώσεις. Απαιτείται μεγάλος χρόνος σάρωσης και τέλος έχει μεγάλη ευαισθησία σε ανομοιογένειες. Η τεχνική PC-MRA δεν έχει φαινόμενα κορεσμού και απώλεια συμφασικότητας. Κάνει εξαιρετική καταστολή

στατικών ιστών. Υπάρχει ευαισθησία σε ροή διαφορετικών κατευθύνσεων και ταχυτήτων. Και τέλος, επιτρέπει ποσοτικές μετρήσεις ροής και παράγει εικόνες magnitude και φάσης. Στα μειονεκτήματα της βάζουμε τον πολύ μεγάλο χρόνο σάρωσης στη 3D. Επίσης ότι απαιτεί γνώση της μέγιστης ταχύτητας ροής. Είναι επιρρεπής σε σφάλματα φάσης. Κι έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην τυρβώδη ροή καθώς και ευαισθησία στην κίνηση. Η CE- MRA έχει εξαιρετικό λόγο εσένα SNR. Επίσης έχει μεγάλο FOV με ικανοποιητική διακριτική ικανότητα και δεν εμφανίζει τεχνικά σφάλματα που οφείλονται σε φαινόμενα ροής. Επίσης έχει μικρό χρόνο σάρωσης. Στα μειονεκτήματα της απαιτεί ενδοφλέβια χορήγηση μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης και εξαρτάται από τον ακριβή συγχρονισμό έγχυσης και λήψης δεδομένων. Η black blood τεχνική έχει μικρότερη ευαισθησία σε στροβιλώδη και τυρβώδη ροή αλλά δυστυχώς απαιτείται μεγάλος χρόνος σάρωσης. Και τέλος η SSFP. έχει μικρό χρόνο σάρωσης, υψηλό λόγο SNR και είναι ανεξάρτητη της διεύθυνσης ροής, αλλά δυστυχώς έχει υψηλό θόρυβο στατικών ιστών.

1.4 Αντενδείξεις

Και στις δύο μεθόδους απεικόνισης υπάρχουν αντενδείξεις. Πριν από κάθε εξέταση τόσο ο παραπέμπων ιατρός όσο και ο ακτινολόγος μαζί με τον τεχνολόγο πρέπει να πάρουν πλήρη ιστορικό και να αξιολογήσουν τον κίνδυνο του εξεταζόμενου. Ιδιαίτερα όπου υπάρχουν αντενδείξεις για τη χορήγηση σκιαγραφικού μέσου. Στην αξονική τομογραφία, αντενδείξεις μπορεί να είναι ο διαβήτης, η μη σωστή νεφρική λειτουργία, μια προηγούμενη αλλεργική αντίδραση ή γενικά οι αλλεργίες⁴. Στην αξονική τομογραφία τα σκιαγραφικά που χρησιμοποιούνται είναι ιωδιούχα σκευάσματα. Τα ιωδιούχα σκιαγραφικά είναι υδατοδιαλυτά ή λιποδιαλυτά και χωρίζονται σε ιονικά και μη ιονικά και σε μονομερή ή διμερή, όπου τα διμερή περιέχουν δύο φορές τον αριθμό των ατόμων ιωδίου σε κάθε μόριο. Στη μαγνητική τομογραφία χρησιμοποιούνται σκιαγραφικά με παραμαγνητικές ή υπερπαραμαγνητικές (σιδηρομαγνητικές) ιδιότητες, που ενισχύουν τις λαμβανόμενες από την απορρόφηση των ραδιοκυμάτων από τους πυρήνες των ατόμων εικόνες. Περιέχουν γαδολίνιο και ανάλογα με τη δομή τους διακρίνονται σε γραμμικά και μακροκυκλικά. Στη μαγνητική τομογραφία αντενδείξεις είναι τα μεταλλικά εμφυτεύματα, τα κοχλιακά εμφυτεύματα, οι βηματοδότες και η κλειστοφοβία⁵.

1.5 Απεικόνιση και μέλλον

Ο τεχνολόγος γνωρίζει την τεχνολογία στην οποία βασίζονται οι μέθοδοι, αλλά και τη χρήση των μεθόδων απεικόνισης. Είναι ο υπεύθυνος για την αιτιολόγηση της εξέτασης, όσον αφορά τη δόση ακτινοβολίας, τη χρήση πόρων και τη ροή του ασθενούς⁶. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας θα επιφέρει αλλαγές στον ακτινολογικό τομέα. Τα πρωτόκολλα και οι τεχνικές βελτιστοποιούνται συνεχώς και η τεχνητή νοημοσύνη εισχωρεί σιγά σιγά στην ακτινολογία. Ένα παράδειγμα χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης σε εξετάσεις αγγείων είναι ένα σύστημα διάγνωσης ανευρυσμάτων με τη βοήθεια ενός υπολογιστή χρησιμοποιώντας βαθιά μάθηση (deep learning), τόσο στην αξονική τομογραφία όσο και στην μαγνητική τομογραφία. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί ενδεχομένως να αναλάβει πολλά καθήκοντα, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής της μεθόδου και του πρωτοκόλλου, και έτσι οι τεχνολόγοι θα μπορούν να εργαστούν σε πιλοτικά προγράμματα, στη συντήρηση και τον ποιοτικό έλεγχο της τεχνολογίας. Το μέλλον μας επιφυλάσσει μεγάλες αλλαγές.

1.6 Κατευθυντήριες γραμμές

Στις μεθόδους απεικόνισης θα μπορούσαν να υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες όσον αφορά τα πρωτόκολλα των εξετάσεων, τη χρήση, την επιλογή στοιχείων ώστε να εκτελούνται σχεδόν παντού πανομοιότυπες εξετάσεις. Ουσιαστικά θα καθόριζαν κατά μεγάλο ποσοστό τους παράγοντες επιλογής της μεθόδου απεικόνισης. Στις μελέτες που εξετάστηκαν τα αποτελέσματα ως προς την ύπαρξη κατευθυντήριων γραμμών για την επιλογή της αγγειακής μεθόδου είναι φτωχά. Ένα παράδειγμα κατευθυντήριας γραμμής είναι το οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο, για αυτή την ένδειξη προτιμάται η αξονική τομογραφία λόγω της διαθεσιμότητας και της αποτελεσματικότητάς της⁸. Η διαθεσιμότητα μπορεί να είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης είναι η διαγνωστική αξία, οι διαφορετικές παθολογίες και η κατάσταση του ασθενούς. Αυτοί οι παράγοντες είναι σημαντικοί και θα έπρεπε να τους γνωρίζει ο τεχνολόγος.

1.7 Στόχος μελέτης

Λοιπόν ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να διερευνήσει τι χρησιμοποιείται ως βάση για την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης στις αγγειακές εξετάσεις. Η απάντηση δίνεται ύστερα από ανασκόπηση είκοσι ένα (21) μελετών.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Ερευνητικό ερώτημα

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανασκόπηση προηγούμενων δημοσιεύσεων - μελετών σε διεθνή επίπεδο, και η ανάλυση τους ώστε να μπορέσουμε να απαντήσουμε στο ερώτημα ποιοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκλογή της απεικονιστικής μεθόδου μεταξύ της CTA (Υπολογιστική Τομογραφία Αγγειογραφία ή αξονική αγγειογραφία) και της MRA (Αγγειογραφία Μαγνητικού Συντονισμού ή μαγνητική αγγειογραφία).

2.2 Διαδικασία αναζήτησης βιβλιογραφίας

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε σε δύο συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων PubMed και Web of Science και συμπεριλήφθηκαν σε αυτή την εργασία μελέτες που αφορούν την αξονική αγγειογραφία όπως και τη μαγνητική αγγειογραφία καθώς και ότι είναι συναφές με τη αξιολόγηση τους και την σύγκριση τους. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμπεριληφθούν οι μελέτες στην εργασία ήταν να έχουν δημοσιευθεί από το 2010 και μετά. Η αναζήτηση των μελετών έγινε βάση λέξεων κλειδιά όπως είναι Computed Tomography Angiography (CTA), Magnetic Resonance Angiography (MRA), TOF, Iodinated contrast, Dynamic examinations, Gadolinium

2.3 Αξιολόγηση και επιλογή μελετών

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις. Αρχικά πήραμε όλα τα άρθρα που συλλέξαμε από τις βάσεις δεδομένων βάση των λέξεων κλειδιών. Στη πρώτη φάση ελέγξαμε ποια από αυτά πληρούν τα κριτήρια ένταξης στη μελέτη μας και εξαιρέθηκαν αυτά που δεν μας κάλυπταν. Στη δεύτερη φάση μετά την ανάγνωση του τίτλου απορρίφθηκαν κάποια ακόμα. Στη τρίτη φάση από αυτά που έμειναν διαβάστηκαν οι περιλήψεις και εξαιρέθηκαν κι άλλα. Η τελευταία και τέταρτη φάση περιλάμβανε μελέτη του πλήρους κειμένου, απορρίφθηκαν όσα δεν μας έκαναν και

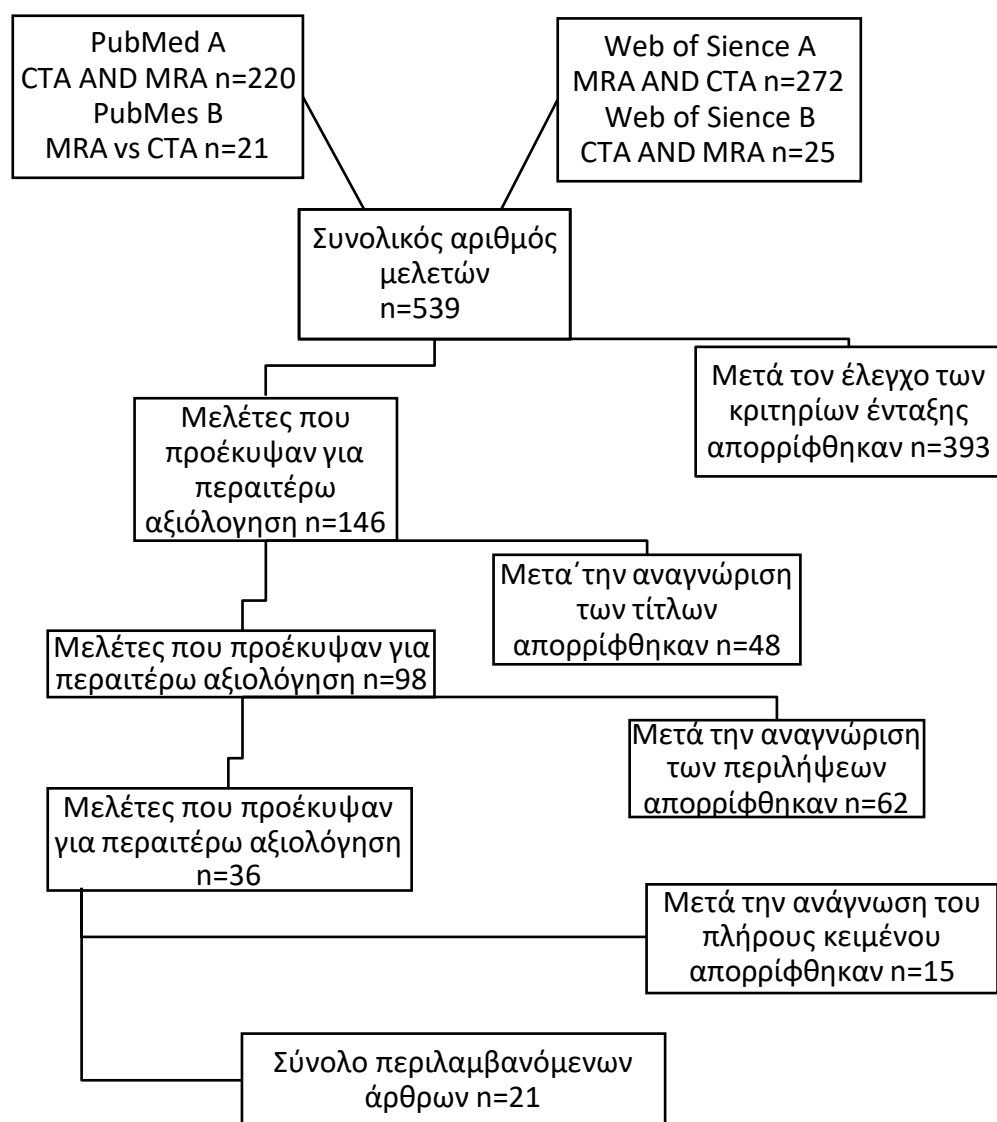
οδηγηθήκαμε στο σύνολο των μελετών της ανασκόπησης. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε 21 άρθρα.

2.4 Ανάλυση δεδομένων

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων από την έρευνα, τα ευρήματα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, συγκρίθηκαν και παρουσιάζονται για κάθε σημαντικό παράγοντα στην επιλογή της μεθόδου. Εξάγονται συνδέσεις και τάσεις με πιθανές εξηγήσεις ή αιτιατές σχέσεις.

Το τελικό σύνολο των μελετών που προέκυψαν από την αξιολόγηση και συμπεριλαμβάνονται στην ανασκόπηση είναι 21 μελέτες (Σχεδιάγραμμα 1).

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της μελέτης.



III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Διαθεσιμότητα, χρόνος σάρωσης και κόστος

Είναι πολύ σημαντικό τα μηχανήματα που πραγματοποιούν τις απεικονιστικές εξετάσεις να είναι εύκολα προσβάσιμα στους εξεταζόμενους και οι εξετάσεις να είναι προσιτές ως προς το κόστος για να έχουν δικαίωμα όλοι σε αυτές. Σε δύο από τις μελέτες που επιλέξαμε να συμπεριληφθούν σε αυτή την εργασία διαπιστώνεται ότι η αξονική αγγειογραφία CTA είναι πιο προσιτή από την μαγνητική αγγειογραφία MRA^{9,10}. Η CTA θεωρείται σήμερα ευρέως η εξέταση εκλογής, λόγω της υψηλής ακρίβειας που έχει και της αξιοπιστίας της.

Σε τρεις από τις τέσσερις μελέτες που εξέτασαν το κόστος των υποκείμενων απεικονιστικών ελέγχων, η CTA παρουσιάζεται ως φθηνότερη^{9,11,12}, αντιθέτως σε μία από όλες τις μελέτες, η τρισδιάστατη αγγειογραφία μαγνητικού συντονισμού χρόνου πτήσης (TOF MRA) ήταν η φθηνότερη¹³.

Ο χρόνος εξέτασης είναι μια σημαντική παράμετρος για την επιλογή της εξέτασης. Επτά από τις είκοσι μια μελέτες αναφέρουν ότι η CTA είναι η ταχύτερη^{9,11,14,15,16,17,18}, αλλά μια μελέτη διαπίστωσε ότι η 3D TOF MRA ακολουθία είχε μικρότερο χρόνο σάρωσης από τη CTA¹³. Επιπλέον, το 3D TOF-MRA ήταν ικανό να παρέχει σαρώσεις υψηλότερης ανάλυσης με μειωμένους χρόνους σάρωσης.

3.2 Ποιότητα εικόνας και διαγνωστική αξία

Ως προς την ποιότητα και τη διαγνωστική αξία διαπιστώθηκε σε επτά από τις μελέτες ότι η CTA είχε καλύτερη ποιότητα εικόνας και η παρουσίαση της εξέτασης ήταν βέλτιστη^{9,11,14,16,18-20}, ενώ σε τέσσερις μελέτες δεν βρέθηκε ουσιαστική διαφορά μεταξύ CTA και MRA^{13,21-23}.

Σε έξι μελέτες, οι απεικονιστικές εξετάσεις που πραγματοποιήθηκαν με CTA είχαν καλύτερη χωρική ανάλυση με CTA^{9,15,17-19,23}, ενώ σε μια μελέτη οι εξετάσεις που πραγματοποιήθηκαν με 3D TOF-MRA, είχαν καλύτερη διακριτική ικανότητα από ό,τι με CTA¹³.

Επίσης οι μελέτες πραγματεύθηκαν ότι η ποιότητα της εξέτασης διαφοροποιείται ανάλογα με την ηλικία και τη δυναμική του εξοπλισμού που είναι διαθέσιμος, τόσο στη CTA όσο και στην MRA^{16,22,24}. Σε μια μελέτη διαπιστώθηκε ότι όταν ο μαγνητικός

τομογράφος είναι δυναμικότητας 3T (3Tesla) το αποτέλεσμα είναι καλύτερο στον μετεγχειρητικό έλεγχο ανευρυσμάτων μετά την τοποθέτηση “coil” από ότι στον 1,5T (1,5Tesla) , παρά το γεγονός ότι μπορεί να παραχθούν περισσότερα τεχνικά σφάλματα (artifacts)²³ .

Σε πέντε μελέτες διαπιστώθηκε ότι η CTA ήταν καλύτερη ως προς τη διαγνωστική αξία^{10,12,14,17,19}, στην αντίπερα όχθη δύο μελέτες διαπίστωσαν ότι η MRA ήταν καλύτερη^{15,22}. Παρόλο αυτά υπήρξαν τρεις μελέτες που ανέφεραν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά κατά τη σύγκριση των δύο τεχνικών^{22,25,26}.

Ως προς την ευαισθησία οχτώ μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η CTA είχε υψηλότερη ευαισθησία^{9,10,12,14,15,17,19,25}, ενώ δύο μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η MRA είχε υψηλότερη ευαισθησία^{10,27}. Σε τρεις μελέτες διαπιστώθηκε ότι η CTA είχε υψηλότερη ειδικότητα^{17,19,20} και σε δύο μελέτες διαπιστώθηκε ότι η MRA είχε υψηλότερη ειδικότητα^{25,27}. Παρόλο αυτά υπήρξε μια μελέτη που δεν βρήκε διαφορά στην ειδικότητα⁹. Ωστόσο, υπήρξαν τρεις μελέτες που διαπίστωσαν ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά σε ευαισθησία και ειδικότητα μεταξύ των δύο απεικονιστικών μεθόδων^{18,23,26}. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι η ευαισθησία και η ειδικότητα της black blood MRA (BB-MRA) η οποία είναι τεχνική αγγειακής απεικόνισης όπου το σήμα από το αίμα που ρέει καταστέλλεται (καθιστώντας το "μαύρο"), στη σοβαρή στένωση της καρωτίδας ήταν συγκρίσιμη με το DSCTA, αλλά ήταν καλύτερη από το TOF-MRA²⁰.

3.3 Εμπειρία και χρήση οδηγιών

Ως προς τη χρήση κατευθυντήριων γραμμών μια μελέτη έδειξε ότι η τιμή του ρυθμού σπειραματικής διήθησης GFR (Glomerular filtration rate) όπου είναι ο καλύτερος συνολικός δείκτης νεφρικής λειτουργίας αυξάνεται από 30 σε 40 ml/min/1,73m² για όσους διατρέχουν κίνδυνο NSF²². Μια άλλη μελέτη αναφέρει κατευθυντήριες γραμμές από την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Καρδιολογίας (ESC) που προτείνουν τόσο αξονική τομογραφία όσο και μαγνητική τομογραφία για ετήσιους ελέγχους συγγενούς TAA σε ενήλικες²¹. Μέσα στις μελέτες χωρίς να αναφέρεται κάπου ξεκάθαρα φαίνεται ότι οι παλιοί ιατροί στηρίζονται στην εμπειρία τους και αρνούνται να δεχτούν κατευθυντήριες γραμμές.

3.4 Αντενδείξεις και παράγοντες κινδύνου

Οι μελέτες αναφέρουν ότι στην MRA αντένδειξη είναι τα μεταλλικά αντικείμενα^{11,14}, όπως και η κλειστοφοβία¹¹. Μία μελέτη αναφέρει τον κίνδυνο αλλεργικής αντίδρασης στην έγχυση μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης κατά τη διενέργεια της CTA⁹. Μια άλλη μελέτη αναφέρει, ότι τόσο στη CTA όσο και στην MRA η χρήση μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης επιφέρει περιορισμούς για ασθενείς που έχουν μειωμένη νεφρική λειτουργία. Και ο λόγος είναι ότι η χρήση σκιαγραφικού συνδέεται με τον κίνδυνο ανάπτυξης νεφρογενούς συστηματικής ίνωσης (NSF) και νεφροπάθειας²⁰. Σε επτά μελέτες υπογραμμίζεται ο κίνδυνος νεφρογενούς συστηματικής ίνωσης (Nephrogenic systemic fibrosis, NSF) που σχετίζεται με τη χρήση γαδολινίου ως μέσο σκιαγράφησης στην MRA^{9,20-22,24,28,29}. Ομοίως, έξι μελέτες υπογραμμίζουν τον κίνδυνο κατά τη χρήση ιωδιούχων σκιαγραφικών μέσων στη CTA, που συνδέεται με τη νεφροτοξικότητα^{13,14,21,22,28,29}.

Αρκετές μελέτες ασχολήθηκαν με την ιοντίζουσα ακτινοβολία, πιο συγκεκριμένα έντεκα μελέτες επισημαίνουν ότι είναι ένα από τα μειονεκτήματα ίσως και το κυριότερο ως προς την επιλογή της CTA ως τεχνική^{10-16,20,24,27,28}. Τρεις μελέτες επικεντρώνονται στο ότι οι νεότεροι πρέπει να έχουν προτεραιότητα να εξεταστούν με μαγνητική αγγειογραφία, για να αποφύγουν την έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αυτές οι μελέτες δείχνουν την ηλικία ως ένα σημαντικό παράγοντα στην επιλογή της μεθόδου εξέτασης^{11,21,27}.

3.5 Αρχική εξέταση ή επανέλεγχος.

Τρεις από τις μελέτες ισχυρίζονται ότι η CTA θα πρέπει να είναι η κύρια μέθοδος, με βάση ότι η MRA έχει ορισμένους περιορισμούς, ιδιαίτερα σε οξείες καταστάσεις^{12,17,19}. Λόγω διαθεσιμότητας μηχανήματος, μικρού χρόνου εξέτασης η αξονική αγγειογραφία ενδείκνυται για επείγοντα περιστατικά που χρειάζονται άμεση περαιτέρω διαχείριση. Για παράδειγμα μια ρήξη ανευρύσματος εγκεφαλικής αρτηρίας ή ένας διαχωρισμός αορτής που χρήζουν άμεση διάγνωση και χειρουργική επέμβαση.

Μια άλλη μελέτη πιστεύει ότι η MRA θα πρέπει να είναι η κύρια μέθοδος, επειδή, μεταξύ άλλων, δεν χρησιμοποιεί ιονίζουσα ακτινοβολία και μπορεί να επαναληφθεί ακόμη και μετά από τη bolus χρήση του σκιαγραφικού μέσου¹⁹. Σε περίπτωση αντενδείξεων για CTA, μία μελέτη πιστεύει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχική

εξέταση μια μαγνητική αγγειογραφία QISS-MRA. (Quiescent-Inflow Single-Shot Magnetic Resonance Angiography)¹⁸. Πολύ χρήσιμη μέθοδος σε νέους εξεταζόμενους καθώς και σε εγκυμονούσες εξαιτίας της μη ύπαρξης ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Μία από τις μελέτες επίσης δείχνει ότι η CTA χρησιμοποιήθηκε πιο συχνά για διερεύνηση και έλεγχο¹⁰.

3.6 Παθολογία

Εξετάζοντας τη παθολογία σε δύο μελέτες είδαμε ότι η black blood MRA (BB-MRA) που είναι μία τεχνική απεικόνισης όπου καταστέλλει το αίμα στον αρτηριακό αυλό (καθιστώντας το "μαύρο") αντί να ενισχύεται όπως συμβαίνει στις συμβατικές τεχνικές Bright Blood MRA, και έτσι μπορεί να απεικονίσει το αρτηριακό τοίχωμα και να μετρήσει τον βαθμό της στένωσης²⁰, ενώ στη QISS-MRA δεν φαίνεται το αρτηριακό τοίχωμα παρά μόνο ο αυλός¹⁶.

3.7 Προτιμώμενη μέθοδος

Πέντε από τις μελέτες ασχολήθηκαν με το ποια είναι η προτιμώμενη τεχνική. Όλες αναφέρουν ότι τόσο η μαγνητική τομογραφία όσο και η αξονική τομογραφία έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και ότι οι συνεχείς εξελίξεις στο χώρο επηρεάζουν συνέχεια αυτό που λέμε χρυσό κανόνα. Τέσσερις εξ αυτών θεωρούν ότι η CTA είναι η μέθοδος που πρέπει να προτιμάται^{10,17,21,29}. Δύο από τις τέσσερις περιγράφουν τη CTA ως το χρυσό κανόνα^{21,29}. Η τρίτη μελέτη βασίζεται στα πλεονεκτήματα της CTA, όπως είναι η διαθεσιμότητα, η ταχεία ερμηνεία και η δυνατότητα διερεύνησης της συννοσηρότητας¹⁰. Και η τελευταία μελέτη αναφέρει ότι η CTA παρέχει την καλύτερη επισκόπηση και ικανότητα για τη σωστή διάγνωση ως μη επεμβατική μέθοδος¹⁷. Η τελευταία μελέτη που ασχολήθηκε με τη προτίμηση θεωρεί ότι η bright blood MRA τεχνική 3D-TOF-MRA (time of flight MRA) είναι ανώτερη από τη CTA λόγω των πλεονεκτημάτων του, όπως το κόστος, η κατασκευή και η απουσία ιοντίζουσας ακτινοβολίας¹³.

3.8 Επιλογή της μεθόδου

Από τις τέσσερις μελέτες που πραγματεύονται σε τι θα βασιστεί η επιλογή της μεθόδου, οι τρεις συνιστούν επιλογή με βάση την κατάσταση του ασθενούς^{14,24,26} και δύο από αυτές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι και οι δύο μέθοδοι, CTA και MRA, έχουν ίση

διαγνωστική αξία^{14,18} ενώ η τελευταία μελέτη επικεντρώνεται στη διαθεσιμότητα, τις κλινικές τάσεις και τις τεχνολογικές εξελίξεις¹¹.

IV. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να διερευνήσει ποια από τις δύο απεικονιστικές μεθόδους CTA και MRA θεωρείται εξέταση εκλογής και ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου.

Καθημερινά εκτελούνται ένα μεγάλο ποσοστό αξονικών αγγειογραφιών σε αντίθεση με την μαγνητική αγγειογραφία όπου η συχνότητα διενέργειας αυτής της εξέτασης δεν είναι τόσο μεγάλη. Μια εξήγηση γι' αυτό μπορεί να είναι ο αριθμός των μηχανημάτων που είναι διαθέσιμα στα νοσοκομεία, και η επιβεβαίωση έρχεται από τα αποτελέσματα της έρευνας όπου φαίνεται μια πιο ομοιόμορφη κατανομή με περισσότερα μηχανήματα αξονικής τομογραφίας ανά νοσοκομείο από τον αρκετά μικρότερο αριθμό των μηχανημάτων μαγνητικής τομογραφίας. Τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι η αξονική τομογραφία χρησιμοποιείται συχνότερα λόγω διαθεσιμότητας. Ένας άλλος λόγος που δικαιολογεί την υπεροχή του αξονικού είναι η διάρκεια της εξέτασης. Είναι μικρός ο χρόνος εξέτασης άρα πιο γρήγορη εναλλαγή περιστατικών συνεπώς , εκτελούνται περισσότερες διαγνωστικές εξετάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα. Η τάση των μελετών δείχνει ότι η CTA είναι ταχύτερη^{17,19,22-26}. Αυτό αιτιολογεί και την τάση που δείχνει ότι ο βαθμός του επείγοντος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της μεθόδου και αυτή είναι η CTA. Τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι η αξονική τομογραφία χρησιμοποιείται συχνότερα λόγω διαθεσιμότητας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στους ταχύτερους χρόνους εξέτασης που συνεπάγεται περισσότερες εξετάσεις ανά ημέρα, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη διαθεσιμότητα. Η διαθεσιμότητα όμως σύμφωνα με την έρευνα δεν είναι ο σημαντικότερος παράγοντας εκλογής μεθόδου απεικόνισης. Η έρευνα εστιάζει περισσότερο στην ποιότητα της εικόνας, όπως και στη διαγνωστική αξία που παρέχεται από τη κάθε μέθοδο.

Η ποιότητα της εικόνας και η διαγνωστική αξία της μεθόδου δεν αναφέρθηκαν ξεκάθαρα ως καθοριστικός παράγοντας στην έρευνα, αλλά δόθηκαν πολλές απαντήσεις σε ελεύθερο κείμενο οι οποίες δείχνουν ότι αυτά μπορεί να έχουν αντίκτυπο στην επιλογή. Ένα ενδιαφέρον εύρημα είναι ότι η CTA βγαίνει λίγο καλύτερη από την MRA

ως προς τη διαγνωστική αξία^{10,12,14,18,19}, τη παραγωγή και τη ποιότητα εικόνας^{19,11,14,16,18-20} και τη χωρική ανάλυση^{9,15,17-19,23}. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές μελέτες που δεν βρίσκουν σημαντική διαφορά ως προς τη διαγνωστική αξία^{22,25,26} ή την παραγωγή και τη ποιότητα εικόνας^{13,21-23}. Η MRA αποδείχθηκε, σε κάποιες μελέτες, καλύτερη όσον αφορά τη χωρική ανάλυση¹³ και τη διαγνωστική αξία^{15,22}.

Τα διαφορετικά ευρήματα που παρατίθενται μπορούν να εξηγηθούν ως προς το διαφορετικό επαγγελματικό υπόβαθρο που έχουν όσοι πραγματοποιούν τις μελέτες, για παράδειγμα μπορεί να είναι ακτινολόγοι ή φυσικοί. Έτσι ανάλογα τον επαγγελματικό προσανατολισμό δίνεται έμφαση σε διαφορετικούς παράγοντες κατά την αξιολόγηση της ποιότητας της εικόνας και της διαγνωστικής αξίας. Μία μελέτη επίσης διαπίστωσε ότι η CTA έχει καλύτερη αναπαραγωγιμότητα από την MRA⁹. Τα στεντ, τα κλιπ και γενικός τα μεταλλικά μπορούν να επηρεάσουν την εξασθένηση στην αξονική τομογραφία και την ένταση του σήματος από τη χαλάρωση πρωτονίων στην μαγνητική τομογραφία και να παράγουν τεχνικά σφάλματα και αυτό μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή της μεθόδου. Τα τεχνικά σφάλματα αναφέρθηκαν σε επτά μελέτες^{9,11,16,17,22-24}, τα πιο συζητημένα ήταν τα τεχνικά σφάλματα από τα στεντ. Παρόλο αυτά τα τεχνικά σφάλματα δεν είναι σημαντικός παράγοντας για την επιλογή μεταξύ CTA και MRA σύμφωνα με τη μελέτη, αλλά βοηθούν στην αξιολόγηση τους με την DSA, που είναι μια πιο επεμβατική μέθοδος²⁴.

Δεν μπορούμε να απαντήσουμε με σαφήνεια ως προς το ποια μέθοδος έχει καλύτερη ευαισθησία ή ειδικότητα από την άλλη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι μελέτες βασίζονται στην εξέταση ενός οργάνου ή μιας παθολογίας, καθένα από τα οποία έχει διαφορετική ευαισθησία και ειδικότητα. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η επιλογή της μεθόδου δεν πρέπει να γίνεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το όργανο και η παθολογία. Επίσης μελετήθηκε ότι η ποιότητα της εξέτασης καθώς και η μέθοδος που θα επιλέξουμε εξαρτώνται από την ηλικία του διαθέσιμου εξοπλισμού. Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τη διαθέσιμη τεχνολογία, μηχανήματα και εξοπλισμό. Κάθε νοσοκομείο είναι ανεξάρτητο συνεπώς καθένα από αυτά έχει διαφορετικής τεχνολογίας μηχανήματα, τεχνολογία. Η ποιότητα της εικόνας και η διαγνωστική αξία συνδέονται με την επιλογή του τρόπου λειτουργίας.

Ως προς τις κατευθυντήριες οδηγίες που χρησιμοποιούνται οι μελέτες μας έδωσαν λίγα δεδομένα. Οι ενώσεις των αγγειοχειρουργών στην Ευρώπη και στην Αμερική έχουν

δώσει κατευθυντήριες οδηγίες^{30,31}, αλλά δεν μπορούμε να πούμε σαφώς αν τις χρησιμοποιούν και σε ποιο βαθμό τις χρησιμοποιούν οι ακτινολόγοι. Επισημαίνεται ότι κυρίως βασίζονται στην εμπειρία τους οι ακτινολόγοι παρά στις οδηγίες. Θεωρούν ότι έχουν μεγαλύτερη εμπειρία και μεγαλύτερη ευθύνη στην επιλογή των τρόπων λειτουργίας. Συνήθως οι εξεταζόμενοι παραπέμπονται από ειδικούς που χρησιμοποιούν ορισμένες από τις καθιερωμένες κατευθυντήριες γραμμές που αναφέρθηκαν προηγουμένως και η επιθυμία για μια μέθοδο είναι επαρκώς αιτιολογημένη στην παραπομπή, ώστε ο ακτινολόγος να μπορεί συχνά να τις εγκρίνει.

Η επιλογή της μεθόδου μπορεί να επηρεαστεί από τις απόλυτες αντενδείξεις. Για παράδειγμα αυτά μπορούν να είναι κάποιου είδους εμφυτευμένα μέταλλα στο σώμα κατά την εξέταση της μαγνητικής αγγειογραφίας^{11,14} ή μπορεί να αφορά κάποια σοβαρή αλλεργική αντίδραση κατά τη χρήση ιωδιούχου σκιαγραφικού μέσου αντίθεσης στην αξονική αγγειογραφία⁹. Η MRA χωρίς αντίθεση μπορεί να λειτουργήσει ως εναλλακτική λύση όπου η αντίθεση αντενδείκνυται, όπως η 3D-TOF-MRA^{13,19,24} και η BB-MRA²⁰. Αυτό επιβεβαιώνεται με βάση τα ευρήματα της έρευνας. Η μειωμένη ποσότητα σκιαγραφικού μέσου και η αραίωση κατά την αξονική αγγειογραφία είναι επίσης μια προτιμώμενη επιλογή σύμφωνα με τα δεδομένα της έρευνας. Εν κατακλείδι οι σχετικές αντενδείξεις δεν πρέπει να αποκλείουν μια μέθοδο απεικόνισης. Ίσως και γι' αυτό το οι αντενδείξεις δεν καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος στις μελέτες. Έρευνα.

Οι περισσότερες μελέτες αναφέρθηκαν στην ακτινοβολία ως ένα μεγάλο μειονέκτημα της CTA^{10-16,17,24,27,28}. Η MRA θεωρήθηκε ως καλύτερη εναλλακτική λύση λόγω της υψηλής δόσης ακτινοβολίας της CTA¹¹. Σήμερα βέβαια με τις νέες τεχνολογίες έχουμε χαμηλότερες δόσεις ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, μπορεί να μειωθεί η δόση της ακτινοβολίας και να πάρουμε βέλτιστη ποιότητα της εικόνας στην αξονική αγγειογραφία CTA χρησιμοποιώντας λυχνία χαμηλής τάσης³² ή Dual-energy αξονικό τομογράφο³³. Σύμφωνα με τις μελέτες οι νεότεροι ασθενείς έχουν συχνά προτεραιότητα για μαγνητική τομογραφία, όσον αφορά τη δόση ακτινοβολίας^{11,21,27}, ειδικά για επαναλαμβανόμενους ελέγχους όπου η συνολική έκθεση σε ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη, καθώς η δόση ακτινοβολίας είναι αθροιστική. Ελεύθερα στο κείμενο όπου αναφέρεται ότι η ηλικία μπορεί να επηρεάσει την εκλογή μεθόδου παρόλο αυτά το βάρος πέφτει στην επί ενδείξεων επιλογή της μεθόδου. Με βάση αυτό φαίνεται ότι

η ηλικία δεν είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας εκλογής της μεθόδου. Ωστόσο, θα πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για τη μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία σε ασθενείς με μεγάλο προσδόκιμο ζωής. Αυτή είναι επίσης μία από τις απαιτήσεις των αρχών ακτινοπροστασίας για να δικαιολογηθεί η έρευνα. Πρέπει να εξεταστούν εναλλακτικές μέθοδοι που έχουν μικρή ή καθόλου έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία.³⁴

Η ικανότητα συνεργασίας του ασθενούς επηρεάζει σε κάποιο βαθμό την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης. Σχολιάζεται βέβαια ότι το πρόβλημα της κακής συνεργασίας μπορεί να λυθεί με μέτρα όπως είναι η ακινητοποίηση του εξεταζόμενου ή ακόμα και η καταστολή. Οι μελέτες το μόνο που αναφέρουν για την κατάσταση του ασθενούς, είναι σε τι βαθμό είναι η ικανότητα συνεργασίας του ώστε να γίνει η επιλογή της μεθόδου απεικόνισης με βάση αυτή.

Οι μελέτες αναφέρθηκαν στους περιορισμούς της MRA σε οξείες περιπτώσεις^{12,17,19}. Επίσης περιορισμός για την επιλογή της MRA είναι η διαθεσιμότητα όπως συζητήθηκε παραπάνω. Μια μελέτη περιγράφει τον γρήγορο χρόνο ερμηνείας και την ικανότητα διερεύνησης της συννοσηρότητας στη CTA, που μπορεί να θεωρηθεί ως πλεονέκτημα έναντι της MRA²⁶. Επιπλέον, μια μελέτη υποστηρίζει ότι η MRA μπορεί να λειτουργήσει ως αρχική εξέταση, λόγω του γεγονότος ότι ο ασθενής δεν εκτίθεται σε ιονίζουσα ακτινοβολία και ότι η σάρωση μπορεί να επαναληφθεί μετά τη χορήγηση σκιαγραφικού μέσου²⁷. Και πάλι σ αυτές τις μελέτες αναφέρεται η ένδειξη ως ο καθοριστικός παράγοντας επιλογής μεθόδου απεικόνισης .

Από τις απαντήσεις ελεύθερου κειμένου στην έρευνα, είναι σαφές ότι ο τύπος της παθολογίας και η εντόπισή της παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου απεικόνισης. Διάφορες παθολογίες παραδειγματίζονται μέσω απαντήσεων ελεύθερου κειμένου. Η εξέταση αποκαλύπτει ότι τα ανευρύσματα εμφανίζονται χειρότερα στην μαγνητική τομογραφία από ότι στην αξονική τομογραφία, επειδή δεν φαίνεται η εξωτερική διάμετρος. Στα άρθρα φαίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των διαφορετικών τεχνικών εντός της MRA, για παράδειγμα BB-MRA και QISS-MRA^{16,20}. Αυτό θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει την επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου και τεχνικής. Η πλειονότητα των άρθρων στηρίζει το άρθρο σε μια παθολογία ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό υποδηλώνει ότι ανάλογα με την παθολογία ταιριάζει και άλλη τεχνική, αυτό συμβαίνει λόγω διαφορετικής προετοιμασίας και ποιότητας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Ορισμένα άρθρα^{17,29,37}, ορίζουν τη CTA ως την εξέταση

εκλογής. Όπως συζητήθηκε παραπάνω, αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι διαφορετικές παθολογίες εξετάζονται διαφορετικά χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές. Επομένως, κάθε πρόβλημα παθολογία έχει τη δική του κατάλληλη εξέταση και αυτό εξελίσσεται παράλληλα με την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας

Ένα μικρό ποσοστό των μελετών επιλέγει κυρίως τη μέθοδο σε σχέση με την κατάσταση του ασθενούς^{14,24,26} Μια άλλη μελέτη, από την άλλη, επισημαίνει ότι η επιλογή γίνεται με βάση παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα, οι κλινικές τάσεις και οι εξελίξεις¹¹. Με βάση αυτό, μπορεί κανείς να δει ότι είναι δύσκολο να γενικεύσει και να προσδιορίσει τι ακριβώς χρησιμοποιείται ως βάση. Πολύ πιθανό είναι να υπάρχει σύνδεση μεταξύ της εμπειρίας του κάθε ακτινολόγου και της επιλεγμένης μεθόδου. Ειδικά υπό το πρίσμα της ερμηνευτικής εμπειρίας, αλλά και αυτού που τονίζεται από τους παράγοντες. Η ένδειξη είναι σημαντική ήταν συνεπής σε όλη τη διάρκεια της έρευνας. Η βιβλιογραφία δεν το μελετά άμεσα, αλλά όπως αναφέρθηκε, οι περισσότερες μελέτες ξεκινούν από μια ένδειξη. Έτσι μπορεί να ερμηνευθεί ως καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή της μεθόδου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου αφορούν τόσο τον ακτινολόγο όσο και τον τεχνολόγο, ειδικά όσον αφορά την καταλληλότητα και τη γενική γνώση για το ποια μέθοδος απεικονίζει μια συγκεκριμένη παθολογία καλύτερα από την άλλη. Μπαίνοντας στη ζωή μας η τεχνητή νοημοσύνη με αλγόριθμους εκπαίδευσης η επιλογή μεθόδου απεικόνισης είναι πολύ πιθανό να περάσει σε αυτή υπό την εποπτεία των τεχνολόγων όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Καθώς και ο τρόπος λειτουργίας της κάθε τεχνικής. Στο μέλλον θα είναι σημαντικό να έχουμε περισσότερες γνώσεις σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου. Όπως θα είναι επίσης σημαντικό να αυξηθούν οι ικανότητες και τα μαθήματα στην ερμηνεία παραπομπών και εικόνων, καθώς και η κλινική ικανότητα

Όπως και σήμερα, κύρια ευθύνη του τεχνολόγου είναι να ανιχνεύει τυχόν αντενδείξεις που αναγράφονται στο παραπεμπτικό ή κατά τη συνάντηση με τον ασθενή να ρωτά και να μαθαίνει, καθώς δεν πρέπει να γίνονται εξετάσεις άνευ λόγου³⁴. Είναι επίσης κατανοητό ότι ο τεχνολόγος έχει μεγαλύτερη επίγνωση της έκθεσης σε ακτινοβολία, με βάση την επαγγελματική του ικανότητα, σε αντίθεση με τους παραπέμποντες που εστιάζουν περισσότερο στη διάγνωση του ασθενούς. Επομένως, για τον τεχνολόγο, θα είναι σκόπιμο να υπάρχουν κατευθυντήριες γραμμές.

Ιδανικά, οι αλγόριθμοι για την εξέταση των καρδιαγγειακών ασθενών θα πρέπει να καθορίζονται από κοινού από καρδιολόγους και ακτινολόγους και οι διαγνωστικές κατευθυντήριες γραμμές θα πρέπει να συγκρίνουν όλες τις μεθόδους που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα συγκεκριμένο κλινικό ερώτημα³⁵.

Αυτή η μελέτη πρέπει να εξεταστεί υπό το πρίσμα των αδυναμιών της. Η αναζήτηση των άρθρων ήταν περιορισμένη από άποψη ποσότητας, χρόνου και πόρων. Επομένως, ενδέχεται να υπάρχουν και άλλες σχετικές μελέτες που αποκλείστηκαν λόγω αυστηρών κριτηρίων και μεθοδολογίας.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Δεν είναι εύκολη η επιλογή μεταξύ της CTA και της MRA. Μπορεί να χαρακτηριστεί πολυσύνθετη. Για την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης, η προσέγγιση για κάθε εξεταζόμενο είναι εξατομικευμένη και βασίζεται σε ένα σύνολο διαφορετικών παραγόντων. Για κάθε εξεταζόμενο αυτοί οι παράγοντες σταθμίζονται διαφορετικά ώστε να φτάσουμε στη σωστή μέθοδο απεικόνισης. Και οι δύο μέθοδοι έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παρόλα αυτά, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι το κλινικό ζήτημα είναι ο παράγοντας που επηρεάζει στο μεγαλύτερο βαθμό την επιλογή της μεθόδου. Συνεπώς η παθολογία, και το ποιο είναι το ζητούμενο μας είναι αυτά που επηρεάζουν πιο πολύ ως παράγοντες την επιλογή της μεθόδου απεικόνισης καθώς και της τεχνικής που θα ακολουθηθεί. Ο τομέας της ακτινολογίας καθώς και η τεχνολογία αναπτύσσονται συνεχώς. Η εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης στις ζωές μας επιφέρει αλλαγές. Αυτό θα επηρεάσει επίσης την προτιμώμενη μέθοδο στο μέλλον. Μπορεί να φανεί η ανάγκη ανάπτυξης κατευθυντήριων γραμμών, ειδικά για τους τεχνολόγους. Με βάση την έρευνα, μπορεί κανείς να δει ότι ένα τέτοιο βοήθημα είναι επίσης επιθυμητό και για ορισμένους ακτινολόγους που δεν έχουν την εμπειρία να αποφασίσουν - να επιλέξουν τη μέθοδο απεικόνισης. Ένας σημαντικός παράγοντας που θα βοηθήσουν πολύ οι κατευθυντήριες οδηγίες είναι η διαθεσιμότητα συστημάτων αξονικής τομογραφίας καθώς και μαγνητικής τομογραφίας και οι προτιμήσεις των ιατρών ακτινολόγων όπως και η τεχνογνωσία των ακτινολόγων.

VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Weinreich M, Litwok Y, Mui LW, Lau JF. Advanced vascular imaging. *Vascular Medicine*. 2017;22(1):73-76. doi:10.1177/1358863X16681666
2. Απόστολος Χ. Καραντάνας. Μαγνητική Τομογραφία, Φυσικές αρχές και ερμηνεία της εικόνας. Β' ανατύπωση 2003
3. Δημήτρης Κουμαριανός. Μαγνητική τομογραφία. Από τις βασικές αρχές στη κλινική πράξη. 2013
4. Beckett KR, Moriarty AK, Langer JM. Safe Use of Contrast Media: What the Radiologist Needs to Know. *RadioGraphics* 2015;35(6):1738-1750. DOI: 10.1148/rg.2015150033.
5. Sammet S. Magnetic resonance safety. *Abdom Radiol (NY)* 2016;41(3):444-51. (In eng). DOI: 10.1007/s00261-016-0680-4
6. Westad TH. Hvordan praktisere berettigelse i en radiologisk hverdag? *Hold pusten*. *HoldPusten* 2013;4:28-30
7. The European Federation Of Radiographer S. Artificial Intelligence and the Radiographer/Radiological Technologist Profession: A joint statement of the International Society of Radiographers and Radiological Technologists and the European Federation of Radiographer Societies. *Radiography (Lond)* 2020;26(2):93-95. (In eng). DOI: 10.1016/j.radi.2020.03.007
8. Øyeblikkelig bildediagnostikk ved akutt hjerneslag Oslo: Helsedirektoratet, 21.12.2017 2017.
(<https://www.helsedirektoratet.no/retningslinjer/hjerneslag/akutfasen-undersokelse-og-behandling-ved-hjerneslag/bilediagnostikk/oyeblikkelig-bilediagnostikk-ved-akutt-hjerneslag>).
9. Chae MP, Hunter-Smith DJ, Rozen WM. Comparative analysis of fluorescent angiography, computed tomographic angiography and magnetic resonance angiography for planning autologous breast reconstruction. *Gland Surg* 2015;4(2):164-178. (In eng). DOI: 10.3978/j.issn.2227-684X.2015.03.06.
10. Repplinger MD, Bracken RL, Patterson BW, et al. Downstream Imaging Utilization After MR Angiography Versus CT Angiography for the Initial Evaluation of Pulmonary Embolism. *Journal of the American College of Radiology : JACR* 2018;15(12):1692-1697. (In eng). DOI: 10.1016/j.jacr.2018.04.017.
11. Cowell GW, Reid AW, Roditi GH. Changing trends in a decade of vascular radiology-the impact of technical developments of non-invasive techniques on vascular imaging. *Insights Imaging* 2012;3(5):495-504. (In eng). DOI: 10.1007/s13244-012-0188-6.
12. Sailer AMH, Grutters JP, Wildberger JE, Hofman PA, Wilmink JT, van Zwam WH. Cost-effectiveness of CTA, MRA and DSA in patients with non-traumatic

- subarachnoid haemorrhage. *Insights into imaging* 2013;4(4):499-507. (In eng). DOI: 10.1007/s13244-013-0264-6.
13. Tian Z, Wang S, He Y, Ma C. Comparative Study of Three Preoperative Imaging Modalities for the Evaluation and Design of Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap: Color Doppler Ultrasound, Computed Tomography Angiography and Magnetic Resonance Angiography. *Iran J Radiol* 2020;17(3):e97168. (Research Article) (In en). DOI: 10.5812/iranjradiol.97168.
 14. Feng Y, Shu SJ. Diagnostic Value of Low-Dose 256-Slice Spiral CT Angiography, MR Angiography, and 3D-DSA in Cerebral Aneurysms. *Dis Markers* 2020;2020:8536471. (In eng). DOI: 10.1155/2020/8536471.
 15. Oda S, Utsunomiya D, Hirai T, et al. Comparison of dynamic contrast-enhanced 3T MR and 64-row multidetector CT angiography for the localization of spinal dural arteriovenous fistulas. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35(2):407-12. (In eng). DOI: 10.3174/ajnr.A3660.
 16. Pamminer M, Klug G, Kranewitter C, et al. Non-contrast MRI protocol for TAVI guidance: quiescent-interval single-shot angiography in comparison with contrast-enhanced CT. *Eur Radiol* 2020;30(9):4847-4856. (In eng). DOI: 10.1007/s00330-020-06832-7.
 17. Schaefer PJ, Pfarr J, Trentmann J, et al. Comparison of noninvasive imaging modalities for stenosis grading in mesenteric arteries. *Rofo* 2013;185(7):628-34. (In eng). DOI: 10.1055/s-0033-1335212.
 18. Wu G, Yang J, Zhang T, et al. The diagnostic value of non-contrast enhanced quiescent interval single shot (QISS) magnetic resonance angiography at 3T for lower extremity peripheral arterial disease, in comparison to CT angiography. *J Cardiovasc Magn Reson* 2016;18(1):71. (In eng). DOI: 10.1186/s12968-016-0294-6.
 19. Cai ZQ, Chai SH, Wei XL, You KZ, Li J, Zhang DM. Comparison of postsurgical clinical sequences between completely embolized and incompletely embolized patients with wide necked intracranial aneurysms treated with stent assisted coil embolization technique: A STROBE-compliant study. *Medicine (Baltimore)* 2018;97(23):e10987. (In eng). DOI: 10.1097/md.00000000000010987.
 20. Lv P, Lin J, Guo D, et al. Detection of carotid artery stenosis: a comparison between 2 unenhanced MRAs and dual-source CTA. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35(12):2360-5. (In eng). DOI: 10.3174/ajnr.A4073.29. Poskaite P, Pamminer M, Kranewitter C, et al. Self-navigated 3D whole-heart MRA for non-enhanced surveillance of thoracic aortic dilation: A comparison to CTA. *Magn Reson Imaging* 2021;76:123-130. (In eng). DOI: 10.1016/j.mri.2020.12.003.

21. Varga-Szemes A, Wichmann JL, Schoepf UJ, et al. Accuracy of Noncontrast Quiescent-Interval Single-Shot Lower Extremity MR Angiography Versus CT Angiography for Diagnosis of Peripheral Artery Disease: Comparison With Digital Subtraction Angiography. *JACC: Cardiovascular Imaging* 2017;10(10, Part A):1116-1124.
22. Wu. G, Jin T, Li T, Morelli J, Li X. High spatial resolution time-resolved magnetic resonance angiography of lower extremity tumors at 3T: Comparison with computed tomography angiography. *Medicine (Baltimore)* 2016;95(37):e4894. (In eng). DOI: 10.1097/md.0000000000004894
23. Dündar TT, Aralaşmak A, Özdemir H, et al. Comparison of TOF MRA, Contrast-Enhanced MRA and Subtracted CTA from CTP in Residue Evaluation of Treated Intracranial Aneurysms. *Turk Neurosurg* 2017 (In eng). DOI: 10.5137/1019-5149.Jtn.21113-17.2.
24. Chen X, Liu Y, Tong H, et al. Meta-analysis of computed tomography angiography versus magnetic resonance angiography for intracranial aneurysm. *Medicine (Baltimore)* 2018;97(20):e10771. (In eng). DOI: 10.1097/md.00000000000010771.
25. Wang L, Zhu L, Li G, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance versus computed tomography angiography for renal artery stenosis: A systematic review and meta-analysis. *J Formos Med Assoc* 2021;120(5):1171-1178. (In eng). DOI: 10.1016/j.jfma.2021.01.007.
26. Schiebler ML, Nagle SK, François CJ, et al. Effectiveness of MR angiography for the primary diagnosis of acute pulmonary embolism: clinical outcomes at 3 months and 1 year. *J Magn Reson Imaging* 2013;38(4):914-925. (In eng). DOI: 10.1002/jmri.24057.
27. Repplinger MD, Nagle SK, Harringa JB, et al. Clinical outcomes after magnetic resonance angiography (MRA) versus computed tomographic angiography (CTA) for pulmonary embolism evaluation. *Emerg Radiol* 2018;25(5):469-477. (In eng). DOI: 10.1007/s10140-018-1609-8.
28. Zhu L, Wu G, Wang J, et al. Preoperative evaluation of renal artery in patients with renal tumor: Using noncontrast-enhanced magnetic resonance angiography. *Medicine (Baltimore)* 2016;95(42):e5025. (In eng). DOI: 10.1097/md.0000000000005025.
29. Cardiology ESo. Guidelines and Scientific Documents. (<https://www.escardio.org/Guidelines>).39.Surgery SfV. (<https://vascular.org/research-quality/guidelines-and-reporting-standards/clinical-practice-guidelines>).40.Rusandu A, Ødegård A, Engh GC, Olerud HM. The use of 80kV versus 100kV in pulmonary CT angiography: An evaluation of the impact on radiation dose and image quality on two CT scanners. *Radiography (Lond)* 2019;25(1):58-64. (In eng). DOI: 10.1016/j.radi.2018.10.004.

30. Reher T. Dual-Energy CT and Radiation Dose. J Am Coll Radiol 2020;17(1 Pt A):95-96. (In eng). DOI: 10.1016/j.jacr.2019.07.016.
31. Forskrift om strålevern og bruk av stråling (Strålevernforskriften) In: omsorgsdepartementet H-o, ed. Oslo2016.43.Fraser AG, Buser PT, Bax JJ, et al. The future of cardiovascular imaging and non-invasive diagnosis. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging 2006;33(8):955-959. DOI: 10.1007/s00259-006-0201-8.
32. Strategi for rasjonell bruk av bildediagnostikk. Oslo: Helsedirektoratet, 01.02.2019 2019. (<https://www.helsedirektoratet.no/rapporter/strategi-for-rasjonell-bruk-av-bildediagnostikk/Strategi%20for%20rasjonell%20bruk%20av%20bildediagnostikk%20-%20rapport%202019.pdf?download=false>).
33. Netteskjema. Elektroniske spor fra Nettskjema Universitettet i Oslo; 2021
34. Shi Z, Hu B,Schoepf UJ, et al. Artificial Intelligence in the Management of Intracranial Aneurysms: Current Status and Future Perspectives. American Journal of Neuroradiology 2020;41(3):373. DOI: 10.3174/ajnr.A6468.