

STERNUL. ONTOGENEZĂ, VARIANTE ANATOMICE, ANOMALII ȘI IMPORTANȚĂ PRACTICĂ

FRANCISC GRIGORESCU SIDO¹, ANCA ZIMMERMANN², ADELA MATEI¹

¹Catedra de Anatomie și Embriologie, UMF "Iuliu Hațieganu", Cluj-Napoca

²Dept. de Endocrinologie și Diabetologie, Clinica Medicală I, Universitatea "Johannes Gutenberg", Mainz, Germania

Rezumat

Pe un număr de 132 de sternuri, ce provin de la subiecți umani, cu vârste cuprinse între luna V fetală și 89 de ani, lucrarea prezintă variante anatomice ale sternului, valoarea unghiurilor substernal, paraxifoidian, raporturile cu vasele toracice (mamare) interne și importanța practică a acestora.

Progresele realizate în domeniile geneticii, imagisticii și chirurgiei toracice, în special în ultimii 30 de ani, justifică readucerea în atenție a sternului și sub aspectul anatomiei variantelor sale (publicații inexistente în literatura autohtonă și puține în cea internațională).

Prezentarea dezvoltării sternului facilitează înțelegerea apariției variantelor anatomice și a numeroase stări patologice ale regiunii (fisuri sternale, torace excavat, în carenă, asternie cu aplazie cutanată, sindroame complexe: Cantrell, Currarino-Silverman etc.). Sunt expuse și unele corelații anatomo-clinice (imagistice și chirurgicale).

Cuvinte cheie: stern, variante anatomice, ontogeneză, importanță imagistică și clinică.

STERNUM. ONTOGENESIS, ANATOMIC VARIANTS, ANOMALIES AND PRACTICAL IMPORTANCE

Abstract

Based on 132 sternums from human subjects, ages between 5th fetal month and 89 years, the article presents anatomic variants of sternum, the value of substernal angle, the relationship with the internal thoracic vessels etc.

The advances in genetics, imaging and thoracic surgery, especially in the last 30 years, explain the attention concerned to the sternum's anatomy and its variants (no article published in local literature and few in the international literature).

Presenting the sternum's development enables the understanding of anatomic variants appearance and of several pathologic conditions of the region (sternal fissures, pectus excavatum, pectus carinatum, asternia with cutaneous aplasia, complex syndromes: Cantrell, Currarino-Silverman etc.). Some anatomo-clinical correlations (imaging and surgical) are presented as well.

Keywords: sternums, anatomic variants, ontogenesis, imaging and clinical importance.

Literatura

Sternul, os nepereche, median, anterior al scheletului toracelui, format din manubriu, corp și proces xifoid [1], a suscitat interesul multor specialiști din diferite domenii

(anatomişti, embriologi, zoologi, fiziologi, antropologi, geneticieni, imagişti, chirurghi etc.). Ca os superficial, este ușor abordabil (palpare, puncție, sternotomie), dar și expus traumatismelor.

Topografic, fiind un os median, Meckel [2] consideră sternul ca o "coloană vertebrală anterioară", care în cursul evoluției s-a păstrat doar în regiunea toracică și deci

Articol intrat la redacție în data de: 03.09.2011

Acceptat în data de: 22.09.2011

Adresa pentru corespondență: Grigorescusido@francisc@yahoo.com

ar fi un organ *axial*.

Filogenetic și anatomo-comparativ, sternul este strâns legat de tipul de statică și locomoție al animalului și este încadrat în *centura pectorală (schelet apendicular)* [3]; (Paterson, Hanson, Parker, Hower, cit Grasse PP, 1954) [4].

Embriologic, dezvoltarea sternului este subiectul a vechi (peste 150 de ani) și numeroase abordări: unele pur descriptive, altele teoretice și speculative, urmate de studii de histologie [5,6,7] și experimentale (transplanturi de țesuturi), culturi de țesuturi, pe animale de experiență (păsări - Fell HB (1939) [8], șoareci - Chen JM etc.), material uman (embrioni, feți, postnatal) și cercetări de biologie a dezvoltării (embriologie, biologie moleculară, genetică, etc.), care precizează exprimările unor gene în regiunile parietale ale toracelui și permit înțelegerea unor mecanisme ale dezvoltării normale și aberante, privind aceste regiuni.

Există *trei teorii clasice*, privind dezvoltarea sternului, două bazate pe ontogeneză și una pe anatomia comparată a vertebratelor recente [9].

1. *Originea costală, somitică*. Sternul se dezvoltă din extremitățile anterioare (ventrale) ale coastelor (provenite din somite, sclerotoame), care se ramifică fiecare în câte o ramură ascendentă și una descendentă. Acestea fuzionează între ele și dau *barele sternale*, care apoi vor fuziona între ele median, în direcție craniocaudală și formează sternul. (Rathke, 1838; Lillie, 1919 [3]; Ruge, 1880; Gegenbaur, Wiedersheim, Max Weber [9]).

2. *Originea coracoidiană sau apendiculară*. Originea costală a sternului nu poate fi valabilă la *anure*, care nu au coaste și *urodele*, animale la care coastele nu ajung la stern. Bogoljubsky și Geldern [3,8,10] Saunders, 1948 [4,5,6,7,11] arată că *barele sternale* nu sunt atinse de coaste în timpul dezvoltării embrionare timpurii, fuziunea coastes-tern apărând mai târziu, pe măsură ce barele sternale fuzionează între ele craniocaudal (deci secundar). Paterson (1902) și Hanson (1919) [3] susțin originea coracoidiană (apendiculară) a sternului la *amfibieni*, admisă și extinsă de Parker (1891), Howes (1891) și Fuchs (1930) [3] și

Gelderen (1925) [4] la toate tetrapodele. Seno T (1961) și Klima M (1968) sunt adepții mai recentii ai teoriei coracoidiene. Autorii se bazează pe studii histologice la embrioni umani [11] și experimentale pe păsări, la care celulele mezenchimale migratoare de *origine somitică* au fost marcate cu pulbere de carbon sanguin, celule din care se dezvoltă coastele, mușchii abdominali și *sternul*.

3. *Teoria originii autogene, autonome, independente a sternului*. Originea sternului nu este nici costală, nici apendiculară (coracoidiană), ci este *independentă*, pornind din *mezodermul lamei sau plicii laterale* a embrionului tridermic, mai exact, din partea cranială, dorsolaterală a mezodermului (somatopleurei) plicii laterale a corpului embrionar cilindric, după închiderea sa [5,6,7], sub forma a două *bare mezenchimale* paramediane, divergente caudal, care se vor apropia între ele și vor fuziona craniocaudal, formând sternul. **Teoria a fost susținută de Bruch (1852) [3]; Gladstone și Wakeley (la amfibieni și amniote, în general); Geldern (lacerta); Kălin (crocodilieni); Paterson și Hanson (cit. Grasse PP, 1954); Fell HB (1933) (păsări); Chen JM (1952, 1953) (șoareci); Rathke, Comp, Braus, Remane, Beccari [9].** Argumentele sunt furnizate de histologie, culturi de țesuturi, heterotransplante la embrioni de animale, etc.

Particularități ale dezvoltării pereților trunchiului

Pereții trunchiului (sternul, țesutul conjunctiv înconjurător și vasele sale, coastele, mușchii toracoabdominali), provin din *mezoderm*, iar nervii, din *ectoderm* [12,13,14,15].

În săptămâna a 3-a de dezvoltare, discul embrionar plat devine tridermic, prin apariția *mezodermului intraembrionar*. Celulele ectoblastice migrează, ce formează mezodermul intraembrionar, se vor localiza în două arii ale discului embrionar tridermic: *regiunea centrală, axială și regiunea periferică* [17,18,19].

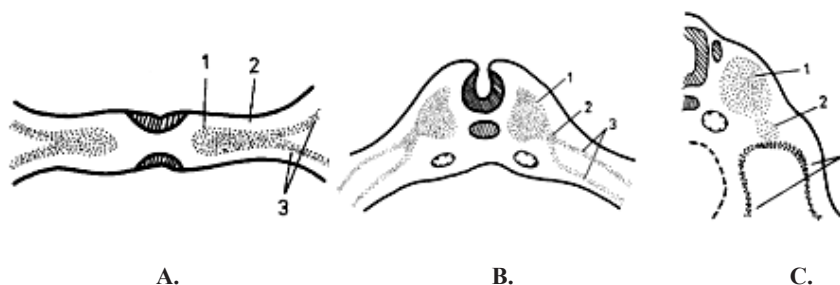


Fig. 1. A. Placa mezodermală laterală primitivă cu 1. Mezoderm paraxial (somitic). 2. Mezoderm intermediar și 3. Mezoderm lateral. **B.** și **C.** Închiderea corpului embrionar, începe după săptămâna a 3-a și se datorează a trei forțe de creștere: creșterea craniocaudală a tubului neural, care favorizează bascularea cu aproape 180° a plicilor cefalică și caudală; proliferarea mezodermului intraembrionar, care închide dorsolateroventral și forța restrictivă a șanțului limitant (viitorul inel ombilical), care frânează extinderea periferiei discului embrionar [16].

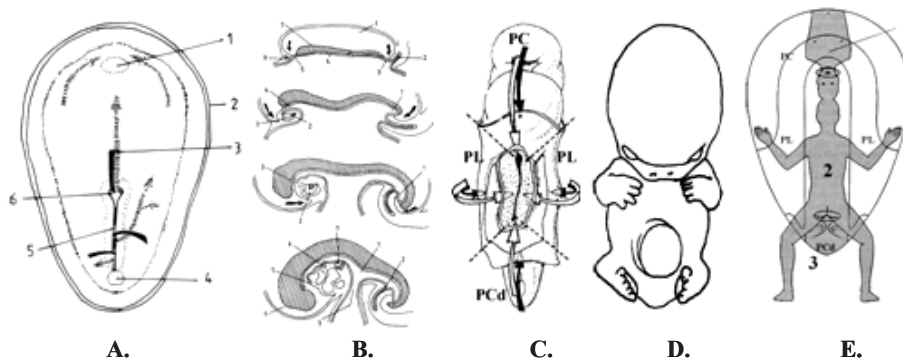


Fig. 2. A. Etapa de disc embrionar. 1. Membrana bucofaringiană. 2. Amnion. 3. Viitorul notocord. 4. Membrană cloacală. 5. Linia primitivă. 6. Nodul primitiv. B. Secțiuni sagitale prin corpul embrionar care ilustrează închiderea craniocaudală a discului embrionar [16]. C. Corpul embrionar devine cilindric, fiind centrat ventral, de un larg inel ombilical. PC. Plica cefalică, PL. Plicile laterale, PCd. Plica caudală (ziua 22). Regiunea toracică supraombilicală este redusă la zona proeminenței cardiace, iar peretele toracic este simplu, fiind format din ectoderm, somatopleura plicilor cefalică și laterale și mezoteliu de căptușire (seroasele pleurală și pericardică) [20]. D. Fața anterioară a unui embrion de 8 săptămâni [17]. E. Discul embrionar cu cele patru plici și proiecția acestora pe fața ventrală etalată a trunchiului, (la adult). Se observă destinul plicilor spre componentele definitive ale trunchiului 1. (PC) Plica cefalică. 2. Regiunea dorsală. 3. (PCd) Plica caudală. PL. Plica laterală. [21].

Regiunea centrală, axială, neafectată de celom, va deveni masa peretelui dorsal al trunchiului, în timp ce regiunea periferică (plicile cefalică, laterale și caudală) va fi separată de celomul intraembrionar în două lame: superficială, formată din *ectoderm* și *mezodermul somatic (somatopleura)* și profundă, formată din *endoderm* și *splanhopleură* [20,22].

După închiderea corpului embrionar, în peretele toracoabdominal lateroventral vor migra celule somitice, populații celulare care vor edifica scheletul, mușchii, vasele, țesutul conjunctiv etc. [21].

Compartimentele anatomice ale pereților trunchiului, în funcție de dezvoltarea lor embrionară [23,24,25], sunt:

- Compartimentul dorsal (epaxial), format din celule de origine exclusiv somitică;
- Compartimentul ventral (hipaxial) conține celule mezodermale amestecate de origine somitică și somatopleurale ale plicii laterale;

Între cele două compartimente se găsește frontiera somitică.

Compartimentul dorsal conține vertebrele, coastele, mușchii epaxiali și paravertebrali, țesutul conjunctiv și dermul dorsal, țesuturi autohtone (Christ B și col., 1983, cit. Aoyama H, 2005), ce se diferențiază *in situ*, fără migrare activă sau amestec cu alte populații celulare mezodermale.

Frontiera somitică marchează tranziția de la o populație celulară pur somitică, spre o populație mixtă, formată din celule mezodermale ale plicii laterale, amestecate cu mioblastele somitice migrate peste frontiera somitică.

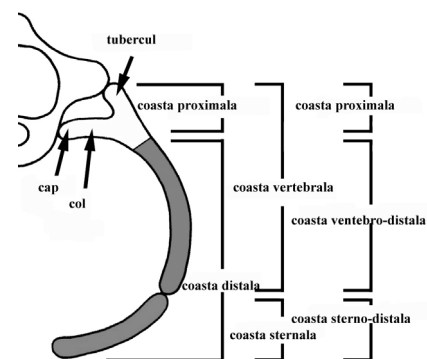


Fig. 3. Pe baza dezvoltării lor, există: coaste proximale (vertebrale) și distale (sternale). Acestea se dezvoltă sub controale tisulare diferite. Coasta proximală depinde de țesuturile axiale ventrale (tub neural, notocord). Coasta vertebrala depinde de ectodermul de suprafață. Coasta sterno-distală depinde de somatopleura plicii laterale și indirect de ectodermul de suprafață [26].

Compartimentul ventral conține membrele, perețele lateroventral al trunchiului (inclusiv sternul) [27] și mușchii hipaxiali. Aici există celule ale *somatopleurei plicii laterale* și *mioblaste* migrate peste frontiera somitică, care interacționează cu mezodermul plicii laterale (Chevallier A și col., 1977; Chevallier A, 1977, 1978, cit. Nowicki JL și col., 2000).

Scheletul axial este codat *colinial* în lungul axului său, de grupul genelor Hox. În regiunea toracică axială a trunchiului se exprimă rostrocaudal numeroase gene: Hox 5, 6, 8 și 9 (Hoxa5, Hoxa6, Hoxb5, Hoxb6 și Hoxc6), precum și genele Cdx1 și Cdx2 [28].

Sternul este o componentă scheletală *abaxială*, ca și *coastele sternale*, care derivă din *mezodermul plicii laterale* [23,25]. Fenotipul derivatelor *abaxiale* ale plicii laterale prezintă independență, suprapunere (nu succesiune

coliniară). Genele Hox, împrumută mezodermului plicii laterale în exprimarea lor, caractere "axiale" *necoliniare*.

Datorită modului în care se exprimă în plica laterală genele Hox, sternul derivat din mezodermul plicii laterale și celulele mezodermale dermomiotoale migrate peste frontiera somitică în plica laterală, adoptă caracterele fenotipice *necoliniare* ale plicii laterale [27].

Biologia dezvoltării sternului

În săptămâna a 6-a a dezvoltării embrionare, primordiile (barele) sternale devin vizibile [5,6,7,29,etc.].

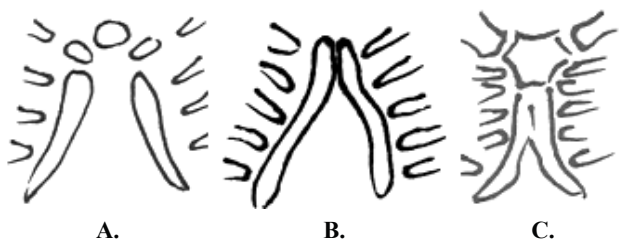


Fig. 4. Etape succesive ale dezvoltării sternului. **A.** În săptămâna 6 barele sternale mezenchimale nu sunt unite cu coastele (29). **B.** Fuziunea barelor sternale se face în sens craniocaudal, începând din săptămâna 8 (29). **C.** Fuziunea barelor sternale în săptămâna 9 (după Ch Müller, 1992, cit. Grigorescu Sido, 1976).

Acestea apar ca două benzi mezenchimale condensate, paramediane, în fiecare parte a peretelui toracic ventral. *Barele sternale* se formează independent de coastă, care provin din somite. În perioadele timpurii, *barele sternale* nu sunt conectate la capătul distal al primordiilor coastelor (Whitehead și Waddel, 1911; Hommes, 1921, cit. Eijgelaar A și col, 1970; Gladstone RJ și Wakeley CPJ, 1932; Fell HB, 1939; Chen JM, 1952, 1953 etc.). S-a demonstrat că sternul provine din două *condensări mezenchimale*, care se dezvoltă nu numai în lipsa intermedierei (influenței sau/și unei contribuții materiale) coastelor, ci sunt capabile, *in vitro*, să se diferențieze și să se apropie de planul median, pentru a fuziona între ele, fără intervenția coastelor [5,6,7].

La formarea *manubriului sternal*, participă barele sternale, precum și alte primordii de natură și origine diferită. La om aceste primordii sunt vizibile în unele stadii timpurii ale dezvoltării blastemelor mezenchimale.

Între capetele mediale ale celor două *clavicule* pot fi observate două blasteme (stâng și drept) (Eggeling, 1906; Cobb M, 1937; Reiter, 1942, cit. Eijgelaar A și col., 1970; Ashley, 1955, 1956; Klima M, 1968), denumite *structuri suprasternale (episternale)*, ce continuă rostral barele sternale, cu care vor fuziona mai târziu.

O altă condensare mezenchimală nepereche, mediană, se localizează caudal de structurile suprasternale, fiind etichetată de Eggeling, Reiter, cit. Eijgelaar A și col. (1970) și Klima M (1968) ca "*proces precostal*". Klima M (1968) identifică aceste trei primordii pe secțiuni histologice

efectuate prin embrioni umani de 21-27 mm, fiind vizibile doar puțin timp.

Astfel, dezvoltarea manubriului implică evoluția *structurilor suprasternale, procesului precostal și capetelor rostrale ale barelor sternale*, situate în dreptul coastei I.

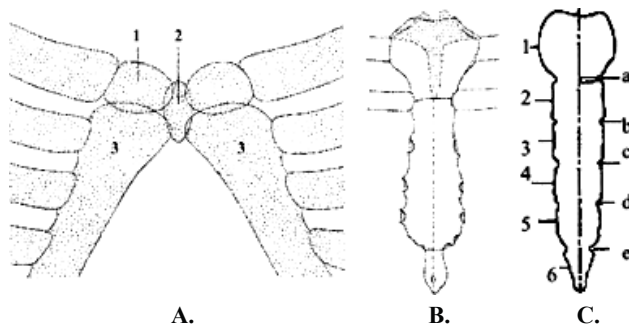


Fig. 5. **A.** Dezvoltarea sternului după Reiter (1942) și Klima M (1968). 1. Structură suprasternală. 2. Proces precostal. 3. Bare sternale. **B.** Sternul definitiv. **C.** Dezvoltarea normală a sternului. Succesiunea în timp al apariției centrilor de osificare (stânga). 1. Lunile 5-6. 2. Lunile 5-6. 3. Lunile 6-7. 4. Lunile 7-8. 5. Primul an de viață. 6. Între 5-18 ani. Fuziunea componentelor sternului (dreapta). a. 10% la adulți. b. Între 16-25 ani. c. Între copilăria târzie și pubertate. d. În copilăria timpurie. e. 30% la adulți [36].

Primordiile sternului, se apropie între ele la extremitatea lor rostrală și fuzionează rostrocaudal. Klima M (1968) a demonstrat că începe la embrionul uman de 17 mm (săptămâna a 6-a).

Succesiunea etapelor evolutive ale sternului, prezentată de Klima M (1968) și completată cu unele date suplimentare din literatură [18,31,15,17,etc.] este următoarea:

- La embrionul de 8-15 mm, săptămâna a 5-a, zilele 34-40, stadiul Carnegie 16, nu există primordii sternale vizibile;
- Embrion de 9 mm, săptămânile 5-6, zilele 37-40, stadiul Carnegie 16 spre final, apar condensări mezenchimale sternale paramediane, în dreptul coastelor 1-3;
- Embrion de 10-12,5 mm, săptămâna 6, zilele 41-43, stadiul Carnegie 17, barele sternale sunt extinse până în dreptul coastei 7;
- Embrion de 15 mm, săptămânile 6-7, zilele 44-46, stadiul Carnegie 18, barele sternale încep fuziunea cranial; devin vizibile primordiile suprasternale;
- Embrion de 17 mm, săptămâna 7, zilele 47-48, stadiul Carnegie 19, structurile suprasternale încep fuziunea mediană și se formează barele sternale continue, nesegmentate;
- Embrion de 21 mm, săptămânile 7-8, zilele 49-51, stadiul Carnegie 19, componentele sternului apar ca structură precartilaginoasă, unică;
- Embrion de 27 mm, săptămânile 8-9, zilele 50-56, stadiile Carnegie 19-23, toate primordiile sternale sunt fuzionate complet, median (fără limite observabile

histologic) până în dreptul coastei a-3-a; în dreptul coastelor 4-5 se pot observa limite histologice; în dreptul coastelor 6-7 fuziunea nu a apărut încă. Sternul este o masă unică nesegmentată.

După formarea sternului ca piesă unică, acesta va trece histologic prin fazele: *precartilaginoasă*, *cartilaginoasă* și *osoasă* (*osificare endcondrală*). Sternul cartilaginos este fuzionat cu extremitățile ventrale ale coastelor sternale. Coastele exercită un efect *inhibitor* al diferențierii și segmentării sternului (fenomen secundar) în *sternebre*. *Sternebrele* apar craniocaudal în luna a 5-a, simultan cu începerea *osteogenezei* sternului [2,5,6,7], fenomene care prezintă foarte multe *variante individuale* [34].

Manubriul începe osificarea în lunile 5-6 de dezvoltare, prin apariția unui punct de osificare.

Corpul sternului va prezenta 4 perechi de puncte de osificare, două pentru fiecare sternbră (sau unul median), localizate în dreptul spațiilor intercostale. Punctele de osificare apar în *ordine craniocaudală*, cele superioare în lunile 7-8 de dezvoltare, iar cele inferioare, în lunile 8-10 postnatal [2].

Fiecare sternbră este formată inițial din două jumătăți (stângă și dreaptă). Acestea se vor suda între ele median (conjuncția laterală Cruveilhier, cit. Testut L și col., 1928), încât corpul sternului va prezenta patru sternebre (sternebre primitive), fiecare în dreptul unui spațiu intercostal.

Mai târziu, aceste sternebre primitive vor fuziona între ele în *sens caudocranial* (conjuncția verticală Cruveilhier, cit. Testut L și col., 1928). Sternbra 4 se unește cu cea de a 3-a spre vârsta de 2-3 ani, iar prima cu a doua spre vârsta de 20-25 ani [2].

Procesul xifoid prezintă de regulă un singur punct de osificare în baza sa, ce apare la vârsta de 3-4 ani sau mai târziu (10, 12 sau chiar 18 ani). La 50-60 de ani se unește cu corpul sternului, iar la 65-75 de ani se sudează corpul cu manubriul (unghiul Louis).

Punctele de osificare pot prezenta numeroase *variante*: pot fi perechi simetrice sau/și asimetrice; mediane, unice pentru fiecare sternbră și numeroase situații intermediare sau unele puncte pot lipsi [35,37,38,21,39].



Fig. 6. Imagini radiografice (schematizate) ale variantelor centrilor de osificare ale sternului [35].

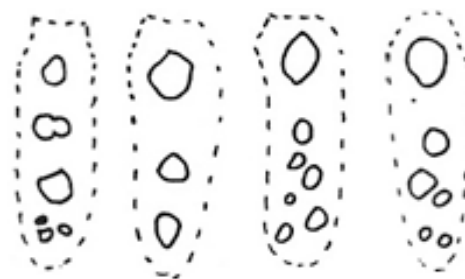


Fig. 7. Centre de osificare pe radiografii la 4 cazuri de nou născuți. Între dispoziția (caracterul și numărul) centrilor de osificare și vârsta cronologică nu se constată corelații, existând o mare variabilitate de la un copil la altul. Ar exista o corelație între vârsta osoasă și aria totală a centrilor de osificare, până la vârsta de 1 an [40].

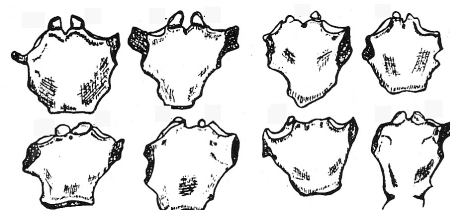


Fig. 8. Pe 800 de imagini CT autorii au identificat 12 cazuri cu oase episternale prezente bilateral și unilateral [41].

Oasele suprasternale sunt perechi sau/și unice, foarte variabile ca formă și dimensiuni, apar la 7% din sternuri [21]. Cartilaginoase la naștere, ele se osifică în cursul adolescenței [21]. Cercetări amănunțite privind oasele suprasternale au efectuat Cobb M (1937), pe 2218 sternuri umane, găsind prezența bilaterală între 0,5-9% și unilaterală în 2,5% din cazuri; Stark P și col., 1987, pe 800 de cazuri a găsit 12 cu oase suprasternale (1,5%): 60% bilateral, 33% unilateral.

După Ashley GT (1951, 1956, 1959), caracterelor particulare ale osificării implică și asociază caractere particulare de formă pentru corpul sternului.

Importanța variantelor și anomaliilor sternului

Variantele anatomice ale sternului sunt de importanță *imagistică*, pentru a nu se confunda o situație normală cu una patologică [42].

Diagnosticul unei anomalii *sternale pure* (orificiu, fisură, torace în pânză sau/și carenă etc.) este de interes clinic major. O *puncție sternală* efectuată printr-un orificiu sternal poate leza pericardul, inima, iar alte anomalii se cer

rezolvate chirurgical. *Asocierea* unei anomalii sternale cu o boală cardiacă congenitală, cu o hernie diafragmatică anterioară, cu defecte parietale abdominale supraumbilicale, pretind abordări terapeutice mult mai complicate, unele din ele în mai multe etape (pentalogia Cantrell, sindromul Curarrino-Silverman, limb-body wall syndrome etc.) [43,44,45,46,47,48,49,50,51].

Încă se mai caută o "*sternotomie ideală*" în chirurgia cardiovasculară [52], pentru a se îmbunătăți evoluția postoperatorie ale unor cazuri ce necesită asemenea intervenții.

Recoltarea *arterei toracice (mamare) interne* pentru bypass-ul coronarian (pediculizare sau/și scheletonizare [53]) poate avea efecte postoperatorii caracteristice lezării sternului: dureri, tulburări funcționale respiratorii, infecții [54,55,56,57,etc.].

Un proces xifoidian mare, recurbat [58], poate da o simpatologie greu de diagnosticat clinic.

Ipoteza de lucru

Sternul este un os care prezintă numeroase aspecte controversate, ca: filogeneză și ontogeneză; apartenență (schelet axial, apendicular); terminologie a componentelor sale (în special filogenetic și anatomo-comparativ); cauzalitatea existenței variantelor și malformațiilor sale; fiind implicat în numeroase stări patologice (primare sau/și secundare, chiar iatrogene), al căror diagnostic clinic și imagistic este uneori dificil și a căror rezolvare solicită uneori tehnici terapeutice individualizate, cu rezultate nu totdeauna satisfăcătoare.

Toate aceste aspecte și multe altele neenumerat, constituie suficiente motive pentru o revedere și eventual o completare privind variantele anatomice a sternului.

Obiective. Evidențierea variantelor anatomice ale sternului la diferite vârste, în ansamblu și pe segmente; ale unghiurilor substernal și paraxifoidiene și importanța practică ale acestora.

Materialul și metodele de lucru

Materialul

Materialul pentru studiu a constat din 132 de sternuri umane. Sternurile au fost reprezentate de 100 de plastroane sternocostale provenite de la persoane între 13-89 ani și 25 feți, între lunile V-IX (în total 59 de sex masculin și 41 de sex feminin). Au mai fost introduse în material 32 sternuri ale unor schelete preparate (8 feți, 3 nou născuți și 21 adulți).

Metode de lucru

Plastroanele sternocostale au fost conservate în soluție de formol 5%. Preparatele au fost disecate clasic, în special pe fața lor posterioară; li s-a întocmit câte un protocol scris, desene schematice cât mai exacte și fotografii. Sternurile provenite de la schelete au fost doar fotografiate. Parametrilor cantitativi li s-a efectuat calcul procentual.

Rezultate

Forma sternului, apreciată din normă anterioară, apare anatomic variabilă, aproape individualizată, după cazul observat. La preparatele recoltate de la *feți* (între 5-9 luni), respectiv la *copii*, se pot observa: lipsa punctelor de osificare la sternul fătului de 5 luni, acesta fiind complet cartilaginos; restul de sternuri ale feților și copiilor prezintă puncte de osificare, fie mediane, fie perechi, mai mult sau mai puțin extinse ca arie.

Sternurile provenite de la *persoanele adulte* sunt variabile ca formă și dimensiuni. Variabilitatea este cu atât mai individualizată cu cât se consideră componentele mai caudale ale sternului. Din schemele și procentele ce reprezintă manubriul, corpul și procesul xifoid al sternului, apare evidentă această variabilitate.

Valoarea *unghiului substernal* se modifică odată cu înaintarea în *vârstă*. Este obtuz la copii, scade spre 25 de ani și apoi crește după această vârstă. Acest unghi este cu atât mai obtuz cu cât individul este mai obez și este mai închis la cei slabi. La cele două sexe, valoarea unghiului

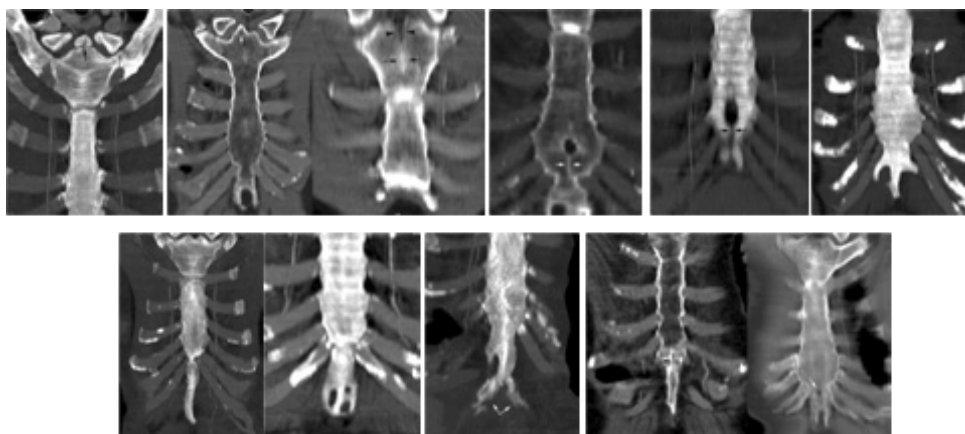


Fig. 9. Variante anatomice ale sternului identificate pe MDCT. [59]. Autorii au găsit pe 1000 de cazuri: 4,1% oase suprasternale; 4,5% orificiu sternal; 71% process xifoid în spatulă; 27,2% bifurcat și 4,5% cu un orificiu.

substernal este aproape identică (media aritmetică este de $74,3^\circ$ la femei și $74,1^\circ$ la bărbați). Valoarea unghiului este corelată și cu morfotipul persoanei (mai deschis la tipul digestiv și mai închis la tipul cerebral, după clasificarea morfotipurilor Sigaud-Mac Auliffe, 1908, cit. Grigorescu Sido, 2009) doar pentru indivizii normoponderali.

Existența și valoarea *unghiurilor paraxifoidiene* este dependentă în mare măsură de lățimea procesului xifoid. Prezența sau absența unghiurilor paraxifoidiene

influențează felul inserției și structura părții anterioare a diafragmei, a mușchiului drept abdominal și tecii sale.

Raporturile sternului cu *vasele toracice interne* sunt cele cunoscute din literatură. O arteră și de obicei două vene comitante se dispun la 1-2 cm de marginile sternului, ele fiind dispuse între m. transvers toracoabdominal (posterior) și cartilajele costale și spațiile intercostale (anterior). Este de remarcat constanța unei anastomoze venoase stângadreapta, prexifoidiene, transversală sau/și oblică.

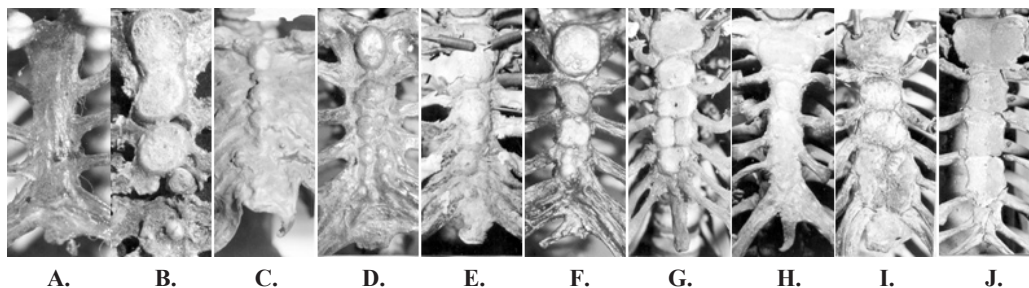


Fig. 10. Exemple evolutive ale sternului de la 5 luni la 13 ani. A. Sternul la 5 luni. B. 7 luni. C. 9 luni. D, E, F. La nou născut. G. La 1 an. H. La 5 ani. I. La 12 ani. J. La 13 ani.

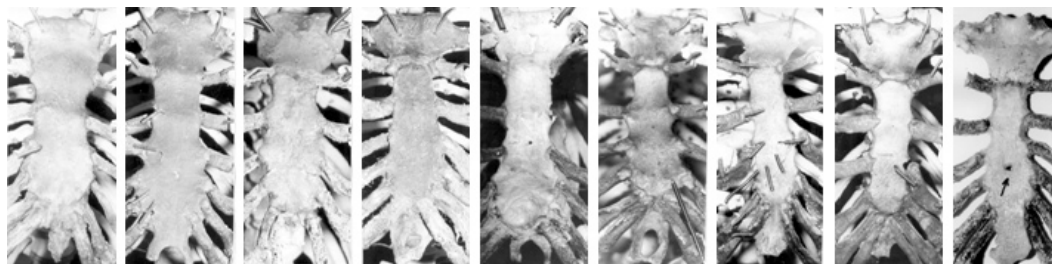


Fig. 11. Variante morfologice ale sternului la adult. Un singur caz cu orificiu sternal (ultimul-săgeata neagră).



Fig. 12. Variante morfologice ale procesului xifoid.

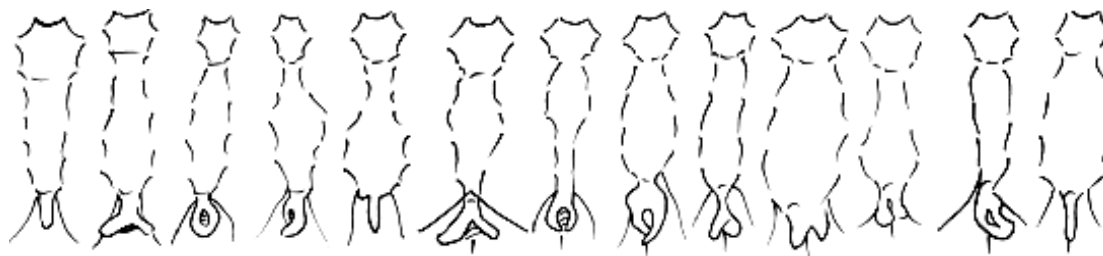


Fig. 13. Variante de formă ale sternului, în întregime, la adulți.

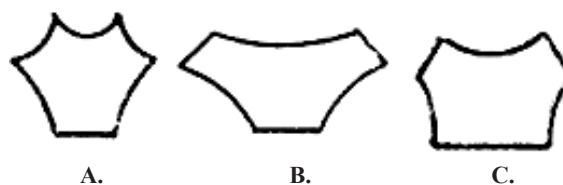


Fig. 14. Variante de formă ale manubriului sternal. A. 80%. B. 4%. C. 16% [31].

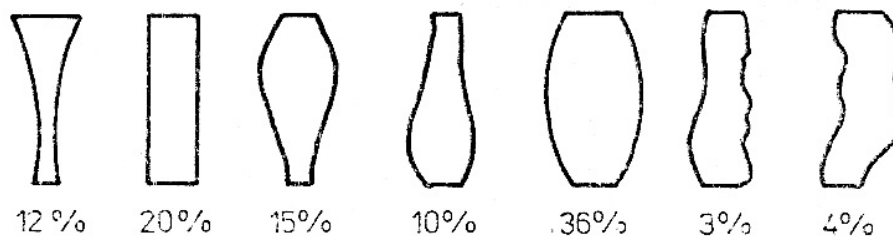


Fig. 15. Diferite forme ale corpului sternului, la adulți.



Fig. 16. Variante de formă ale procesului xifoid. Sus (spatulă) 18%. Mijloc (bifurcat) 51%. Jos (cu orificiu) 31% [31].

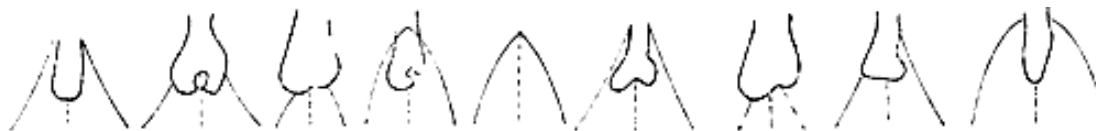


Fig. 17. Raporturile procesului xifoid cu arcurile condrocostale, variante ale unghiurilor substernale și paraxifoidiene [31].

Discuții

Sternul și variantele sale anatomice au suscitat interesul specialiștilor (embriologi, anumiști, biologi, geneticieni, antropologi, medici legiști, imagiști, chirurghi etc.) sub numeroase aspecte: dezvoltarea sternului și cauzalitatea variantelor sale anatomice; diagnosticul corect imagistic a ceea ce este normal și patologic; realizarea unor sternotomii ideale; efectele postoperatorii ale utilizării arterei toracice (mamare) interne pentru bypass-ul coronarian; rezolvarea optimă a defectelor sternale pure (fisuri, torace în carenă și în pâlnie etc.) sau/și asociate cu anomalii cardiace congenitale, defecte diafragmatice anterioare, defecte parietale supraombilicale etc.

Numeroși autori [4,5,6,7,8,10,11,35,40,etc.] și-au fixat ca temă principală de cercetare dezvoltarea embrionară a sternului, aducând contribuții importante care permit înțelegerea mării majorității a etapelor dezvoltării sternului. Un punct nelămurit [31,32] a rămas *originea exactă a celulelor progenitoare ale sternului*. Reamintirea unor opinii privind subiectul este interesantă:

- celulele sternale provin din extremitatea anterioară a coastelor, care la rândul lor provin din scleroame (somitele) (teoria costală);
- proveniența lor din structuri ce aparțin centurii pectorale (teoria apendiculară);
- originea independentă din somatopleură (nici

din coaste, nici din centura pectorală) (teoria dezvoltării autonome);

- autori marcanți ca Fell (1939) și Chen (1952, 1953) își încep experimentele privind originea sternului, ca pornind din *mezodermul plicii laterale (somatopleura) din regiunea rostrală și dorsolaterală a peretelui trunchiului*, de unde țesutul mezenchimal migrează în direcție ventrală, apoi caudală. Autorii nu comentează originea mai exactă a acestui mezenchim migrator, dacă provine din somite sau nu, dar studii ulterioare sunt necesare [32];

- după T. Seno (1968) sternul provine din somatopleura plicii laterale, ca și scheletul aripii și mușchii pectorali (păsări). Nici Seno, nici Murillo-Ferrol (1963) și nici Pinot (1969) nu au investigat stadii mai timpurii în dezvoltarea somitelor cervicale. Deoarece mușchii pectorali sunt inervați din nervii spinali cervicali, nu este improbabil ca mușchii pectorali, *sternul* și scheletul aripii (pui) să provină din *somitele cervicale* [32];

- celulele progenitoare sternale sunt o populație amestecată (din mezodermul somatopleural al plicii laterale, cărora li se adaugă celule dermomiotomale migrate peste frontiera somitică), care se dezvoltă în plica laterală. Fenomenul are loc sub influența genelor Hox, care în mezodermul plicii laterale adoptă modul de exprimare *necolinier* al structurilor *abaxiale* (sternul, coasta sterno-distală și mușchii intercostali).

În fața atâtor abordări, unele speculative, altele dovedite experimental (parțial), ar mai putea fi emise unele ipoteze:

- *morfogeneza patologică*, din care este necesar să fie amintite: pentalogia Cantrell; sindromul Curarrino-Silverman; limb-body wall syndrome; fisurile mentosternale etc., oferă idea *originii unice sau comune* ale tuturor structurilor anatomice implicate în anomaliile complexe amintite; dezvoltarea *segmentului eferent al inimii și arterelor mari* [61,62,63,etc.], implică, după cercetări recente și alte origini, pe lângă ariile cardiogenetice primare, și cele secundare. Inima și vasele mari mai primesc contribuții celulare din: mezodermul paraaxial cranial [61], câmpul morfogenetic cardiocraniofacial [63] și din crestele neurale cardiace [62]. Apare întrebarea dacă aceste populații celulare nu ar putea contribui și la edificarea sternului în somatopleura plicii laterale (sau mai exact în somatopleura plicii cefalice). Ar fi un adaus celular, atât în splanhnopleură (fapt dovedit), cât și în somatopleură (presupunere);

- bascularea *plicii cefalice* în cadrul închiderii corpului embrionar [20,21,15,31], aduce mezoderm supra-ombilical, din care se dezvoltă componente anatomice ale acestei plici: *peretele toracoabdominal supraombilical anterior, inima, pericardul și vasele mari, partea anterioară a diafragmei și ficatul în septul transvers*. Atât splanhnopleurei, cât și somatopleurei, li se pot adăuga celule progenitoare mezenchimale migratoare din: nodul primitiv și linia primitivă, mezenchimul precordial, crestele neurale craniale (în special rombencefalice), mezodermul paraaxial cranial. Oricare din aceste surse celulare (ex: mezodermul cardiohepatodiafragmatic [31]) ar putea contribui la edificarea sternului, rămânând valabilă ideea *celulelor progenitoare amestecate* și influența genelor Hox demonstrată în plica laterală.

Variabilitatea de *formă a sternului* este pusă pe seama felului în care se conturează punctele de osificare (unice, perechi, simetrice, asimetrice etc.) [35]. Ceea ce este de remarcat este această variabilitate mai mare în partea inferioară a sternului [31].

Unghiul substernal este dependent de vârstă, starea de nutriție și morfotip, dar nu depinde de sex (Grigorescu Sido, 1976, 1990), așa cum apare în manuale.

Unghiurile parasternale, apreciable prin palpare, sunt dependente de lățimea procesului xifoid, acest fapt influențând în special structura părții anterioare a diafragmei, cu repercusiuni asupra patologiei acesteia (hernii diafragmatice anterioare dobândite netraumatice) [30,31], precum și asupra inserțiilor superioare ale mușchiului drept abdominal și a structurii tecii sale [30,31].

Concluzii

1. Variantele anatomice ale sternului sunt numeroase, aproape individuale, **fapt important de cunoscut** pentru a nu fi confundate cu stări patologice.

2. Variabilitatea morfologică a componentelor sternului (manubriu, corp, proces xifoid) este dependentă de particularitățile punctelor de osificare și crește în direcție craniocaudală. Între vârsta cronologică și caracterele punctelor de osificare poate exista o corelație, doar până la vârsta de un an.

3. Originea embrionară a celulelor progenitoare sternale nu este precizată cu exactitate în literatura consultată.

4. Anomaliile sternale pure (orificii, fisuri, torace în pâlnie, în carenă etc.) și cele asociate (sindroame complexe parieto-viscerale, boli cardiace congenitale, hernii diafragmatice, fisuri mentosternale etc.) beneficiază de progresele imagistice și chirurgicale existente azi.

5. Recoltarea arterei toracice (mamare) interne este una din metodele des utilizate în chirurgia cardiovasculară, dar pot apărea implicări sternale postoperatorii (dureri, infecții, tulburări respiratorii etc.).

6. Realizarea unei "sternotomii ideale" rămâne în continuare în atenția chirurgilor.

7. Unghiul subcostal este variabil cu vârsta, starea de nutriție și morfotipul, dar are valori egale la persoanele normoponderale de ambele sexe, contrar evaluărilor din manualele de anatomie.

8. Unghiurile paraxifoidiene depind de lățimea procesului xifoid și condiționează structura părții anterioare a diafragmei, a tecii dreptului abdominal și inserția acestui mușchi, în regiune.

9. Între procentajele variantelor anatomice ale procesului xifoid ale autorilor prezentei lucrări și cele prezente în literatura consultată există diferențe apreciable.

Bibliografie

1. Papilian V. Anatomia omului. 1974; Ed V, Vol. I, Ed Did Ped, București, 28-32.
2. Testut L, Latarjet A. Traite d'Anatomie Humaine. Ed. VIII, 1928: 995-1024.
3. Grasse PP. Traite de zoologie, anatomie systematique, biologie. 1954; Vol. XII, Masson, Paris: 698-718.
4. Seno T. The origin and evolution of the sternum. Anat Anz, 1961; 110; 97-101.
5. Chen JM. Studies of the morphogenesis of the mouse sternum. II. Experiments on the origin of the sternum and its capacity for self-differentiation in vitro. J Anat; 1952; 86 (4): 387-401.
6. Chen JM. Studies on the morphogenesis of the mouse sternum. I. Normal embryonic development. J Anat; 1952; 84(4): 373-386.
7. Chen JM. Studies on the morphogenesis of the mouse sternum. III. Experiments on the closure and segmentation of the sternam bands. J Anat; 1953; 87(2): 130-149.
8. Fell HB. The origin and developmental mechanics of the avian sternum. Phil Trans Roy Soc Loud, 1939; 229: 407-463.
9. Dornescu GT, Necrasov OC. Anatomia comparată a vertebratelor. Ed Did Ped, București, 1968; Vol I: 61-75.
10. Gladstone RJ, Wakeley CPJ. The morphology of the sternum and its relation to the ribs. J Anat Physiol (London), 1932; 66 (Pt 4): 508-564.

11. Klima M. Early development of the human sternum and the problem of homologization of the so-called suprasternal structures. *Acta Anat (Basel)*, 1968; 69 (4): 473-484.
12. Arey LB. *Developmental anatomy*, 7th Ed., WB Saunders O, Philadelphia, 1966: 12-27; 90-105; 207-213.
13. Andronescu A. *Anatomia dezvoltării omului. Embriologie Medicală*. Ed Med, București, 1987: 180-186.
14. Bareliuc L, Neagu N. *Embriologie umană. Normală și Patologică*. Ed Med, București, 1987: 36-50; 253-261.
15. Grigorescu Sido Fr, *Morfologia părții anterioare a diafragmei la om, Teză de doctorat*, IMF Cluj, 1976.
16. Langman J, *Medical embryology*, 4th Ed, Williams&Wilkins, Baltimore/London, 1981; 123-138.
17. Moore KL, Persaud TVN. *The developing human*. WB Saunders Co., Philadelphia, 1998: 63-104; 201-213; 405-412.
18. Sadler TW. *Langman's Medical embryology*, 1990; 6th Ed, Williams & Wilkins, Baltimore, 50-157.
19. Brookes M, Zietman A. *Clinical Embryology*. CRC Press, 2000; 56-65; 88-92; 300-315.
20. Duhamel B, Haegel P, Pages R. *Morphogenese pathologique*. Masson et Cies, 1966; 7-4; 57-93.
21. Williams PL, Warwick R, Dyson M, et al. *Gray's Anatomy*. 37th Ed, Churchill Livingstone, Edinburgh, 1989; 159-175; 206-217.
22. England MA. *Life before birth*. Sec Ed., Mosby-Wolfe, London, 1996; 183-188.
23. Nowicki JL, Burke AC. Hox gene and morphological identity, axial versus lateral patterning in the vertebrate mesoderm. *Development*, 2000; 127: 4265-4275.
24. Burke AC, Nelson AC, Morgan BA, et al. Hox genes and the evolution of vertebrate axial morphology. *Dev Biol*, 1995; 191: 333-346.
25. Burke AC, Nowicki JL. A new view of patterning domains in the vertebrate mesoderm. *Dev Cell*, 2003; 4: 159-165.
26. Aoyama H, Mizutani-Koseki Y, Koseki H. Three developmental compartment involved in rib formation. *Int J Dev Biol*, 2005; 49: 325-333.
27. McIntyre DC, Rakshit S, Yallowitz ARH. Hox patterning of the vertebrate rib cage. *Development*, 2007; 134: 2981-2989.
28. van den Akker E, Forlani S, Chawengsakophak K, et al. Cdx1 and Cdx2 have overlapping functions in anteroposterior patterning and posterior axis elongation. *Development*, 2002; 129: 2181-2193.
29. Patten BM. *Human Embryology*. Ilme Ed. Mc Graw Hill Book, 1953.
30. Grigorescu Sido Fr. *Embriologie. Generală și specială*. Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj, 2006.
31. Grigorescu Sido Fr. *Anatomia clinică a diafragmei*. Ed. Dacia, Cluj, 1990; 45-61.
32. Eijgelaar A, Bijtel JH. Congenital cleft sternum. *Thorax*, 1970; 25: 490-498.
33. Cobb M. The ossa suprasternalia in whites and American negroes and the form of the superior border of the manubrium sterni. *J Anat*, 1937; 71 (Pt 2): 245-291.
34. Ashley GT. Factors leading to the development of a joint between the manubrium and the mesosternum. *Thorax*, 1955; 10: 153-156.
35. Ashley GT. The relationship between the pattern of ossification and the definitive shape of the mesosternum in man. *J Anat*, 1956; 90 (1): 87-105.
36. Stark P, Jaramillo D. CT of the sternum, *AJR*, 1986; 147: 72-77.
37. Andren L, Hall P. Diminished segmentation or premature ossification of the sternum in congenital heart disease. *Br Heart J*; 1961; 23: 140-142.
38. Steiner RM, Kricun M, Shapiro J. Absent mesosternum in congenital heart disease. *Am J Roentgenol*, 1976; 127: 923-925.
39. Rush WJ, Donnelly LF, Brody AS, et al. "Missing" sternal ossification center: Potential mimicker of disease in young children. *Radiology*, 2002; 224: 120-123.
40. Riach ICF. Ossification in the sternum as a means of assessing skeletal age. *J Clin Path*, 1967; 20: 589-590.
41. Stark P, Watkins GE, Hildebrant HE, et al. **Episternal ossicles**; *Radiology*, 1987; 165: 143-144.
42. Goodman LR, Teplik SK, Kay H. Computed tomography of the normal sternum. *AJR*, 1983; 141: 219-223.
43. Cantrell JR, Haller JA, Ravitch MM. A syndrome of congenital defects involving the abdominal wall, sternum, diaphragm, pericardium and heart. *Surg Gynecol Obstet*, 1958; 107: 602-614.
44. Currarino G, Silverman FN. Premature obliteration of the sternal sutures and pigeon breast deformity. *Radiology*, 1958; 102: 780-782.
45. Mulder DG, Crittenden IH, Adams FH. Complete repair of a syndrome of congenital defects involving the abdominal wall, sternum, diaphragm, pericardium and heart; Excision of ventricular diverticulum. *Ann Surg*, 1960; 151 (1): 113-122.
46. Reese HE, Stracenter CE. Congenital defects involving the abdominal wall, sternum, diaphragm and pericardium: Case report and review of embryologic factors. *Ann Surg*, 1966; 163 (3): 391-394.
47. Zorab PA. Chest deformities. *Br Med J*, 1966; 1 (5496): 1155-1156.
48. Hollinshead WH. *Anatomy for surgeons*. Vol II, Harper&Row Publ, New York, 1971; 1-28.
48. Cardoso E, Sundararajan MS. Asternia with aplasia cutis: a method of repair. *Thorax*, 1987; 42: 829-830.
50. Falcao JLAA, Falcao SNRS, Sawicki WK, et al. **Cantrell syndrome**. Case report of an adult. *Arq Bras Cardiol*, 2000; 75 (4): 326-328.
51. Bhat RY, Muthuram RA. Cantrell syndrome in one of a set of monozygotic twins, *Singapore Med J*, 2006; 47(12): 1087-1088.
52. Kushal M, Vishwa Prakash G, Rajvir S, et al. **Comparison of straight sternotomy& interlocking sternotomy in open heart surgery**. *Indian J Med Res*, 2006; 124: 57-62.
53. del Campo C. Pedicled or skeletonized. A review of the internal thoracic artery graft. *Texas Heart Institute Journal*, 2003; 30(3): 170-175.
54. Jelick N, Djordjevic LJ, Stosic T. The internal thoracic blood vessels (internal thoracic arteries and veins) and their practical significance. *Spr Arh Celok Lek*, 1996; 124(3-4): 58-61.
55. Iwakura A, Tabata Y, Miyao M, et al. **Novel method to enhance sternal healing after harvesting bilateral internal thoracic arteries with use of basic fibroblast growth factor**. *Circulation*, 2000; 102; III-307-III-311.
56. Märkl B, Raab H, Arnholdt H, et al. **Morphological and histopathological comparison of left and right internal thoracic artery with implications on their use for coronary surgery**. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*, 2003; 2: 73-76.
57. Grigorescu Sido Fr, Anca Zimmermann. *Artera toracică (mamară) internă. Raporturi parietale și ramuri terminale*, Clujul Medical, 2006; LXXIX(2): 194-204.

-
58. Sanders RC, Knight RW. Radiological appearances of the xiphoid process. *Radiology*, 1981; 141: 489-490.
59. Yekeler E, Tunaci M, Tunaci A, et al. **Frequency of sternal variations and anomalies evaluated by MDCT.** *AJR*, 2006; 186: 956-960.
60. Grigorescu Sido Fr. Anatomia omului. Generalități. Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj, 2009: 24.
61. Noden DM. Origins and patterning of avian outflow tract endocardium. *Development*, 1991; 111: 867-876.
62. Xiaobing J, Rowitch DH, Soriano P, et al. **Fate of the mammalian cardiac neural crest.** *Development*, 2000; 127: 1607-1616.
63. Tirosh-Finkel L, Elhanany H, Rinon A, et al. **Mesoderm progenitor cells of common origin contribute to the head musculature and the cardiac outflow tract.** *Development*, 2006; 133: 1943-1953.