

Kraniovertebralni venski sustav

The craniovertebral venous system

Tamara Šoić Vranić*, Snježana Bajek, Ivana Marić, Marina Nikolić, Luka Đudarić,
Dragica Bobinac

Sažetak. Kraniovertebralni venski sustav čine kranijalne i kralježnične vene. Ove vene su međusobno povezane i nemaju zalistaka, što omogućava tok krvi u oba smjera. Kranijalnim venama pripadaju vene mozga, sinus tvrde moždane ovojnice, diploične i emisarne vene, dok kralježničnim venama pripada vanjski i unutarnji vertebralni splet te bazivertebralne vene. Iz kraniovertebralnog venskog sustava krv odvode *vv. vertebrales*, *vv. intercostales postt.*, *vv. lumbales* i *v. sacralis lat.* u sustave gornje i donje šuplje vene izravno ili putem sustava vene azigos. Kraniovertebralni venski sustav s ostalim sustavima tvori brojne anastomoze koje u patološkim uvjetima predstavljaju kolateralni put krvi ka srcu i omogućuju izravno širenje neoplazmi iz prsne, trbušne i zdjelične šupljine u područje kranijuma i kralježnice. Osim toga, značajna je uloga kranijalnih vena i vena gornjih dijelova dišnog sustava u selektivnom rashlađivanju mozga, što je osobito značajno u hipertermiji.

Ključne riječi: anatomija; hipertermija; sinusi tvrde moždane ovojnice; venski sustav

Abstract. The craniovertebral venous system consists of cranial veins and veins of vertebral column. These veins are interconnected with no valves, allowing blood to flow freely in both directions. The veins of brain, dural venous sinuses, diploic veins and emissary veins belong to cranial veins. The veins of vertebral column consist of external and internal vertebral venous plexus and of basivertebral veins. The vertebral veins, posterior intercostals veins, lumbar veins and lateral sacral veins drain blood directly from craniovertebral venous system in azigos vein or in superior and inferior vena cava. The craniovertebral venous system with other venous systems are forming numerous anastomosis, which in pathological conditions represent a collateral pathway for blood to the heart and allow the direct spread of neoplasms of the thoracic, abdominal and pelvic cavity in the area of the cranium and spine. In addition, the significance of cranial veins and veins of the upper part of the respiratory system are part of the selective brain cooling mechanism which is particularly important in condition of hyperthermia.

Key words: anatomy; cranial sinuses; hyperthermia; venous system

Zavod za anatomiju, Medicinski fakultet
Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

***Dopisni autor:**

Izv. prof. dr. sc. Tamara Šoić Vranić, dr. med.
Zavod za anatomiju
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, 51 000 Rijeka
e-mail: tamara.soic.vranic@medri.uniri.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

ANATOMIJA KRANIOVERTEBRALNOG VENSKOG SUSTAVA

Vene su krvne žile koje za razliku od arterija imaju zalistke kojima je omogućeno vraćanje krvi u srce. Izuzetak čine velike vene, vene pluća i jetre, vene lica i skalpa, kao i vene unutar lubanjske šupljine te kralježnične vene. Vene mozga po građi nalikuju na one i drugdje u tijelu, tanke su i lako kolabiraju, a ulijevaju se u čvršće strukture, sinuse tvrde moždane ovojnice. Niti jedne niti druge

Kraniovertebralni venski sustav omogućava normalnu funkciju središnjeg živčanog sustava.

nemaju zalistaka. U ležećem položaju sva venska krv putem sinusa tvrde moždane ovojnice odlazi u unutarnju jugularnu venu. U stojećem stavu vertebralni venski spletovi predstavljaju glavni odvodni put venske krvi iz lubanjske šupljine¹.

Opisana su tri puta kojima se odvodi venska krv iz kranijuma, a to su pomoću unutarnje jugularne vene, emisarnih vena i vertebralnog venskog spleta. U većini udžbenika anatomije ne ističe se naročita važnost vertebralnog venskog spleta nego doprinos daju unutarnjoj jugularnoj veni. Naime, Herlihy² je predložio da vertebralni venski spletovi postanu samostalni venski sustav sa svim svojim vezama s drugim venama i venskim sustavima. Vertebralni venski spletovi povezani su s vertebralnim venama, *vv. intercostales post, vv. lumbales, v. sacralis lateralis* te sustavom vene azigos.

KRANIJALNE VENE

***Sinus durae matris* – sinusi tvrde moždane ovojnice**

Sinusi tvrde moždane ovojnice su venski kanali koji odvođe krv iz mozga. Smješteni su između dva lista tvrde moždane ovojnice, obloženi endotelom. U stijenci nemaju mišićnice, a niti zalistaka. Dijelimo ih u gornju i donju skupinu sinusa tvrde moždane ovojnice³⁻⁷(slika 1).

Sinus sagittalis sup. započinje u području kriste gali otkud se pruža duž brazde, *sulcus sagittalis sup.* do sabirnog mjesta, *confluens sinuum*, koji je čvrno mjesto gornje skupine sinusa. U *sinus sa-*

gittalis sup. ulijevaju se *vv. cerebri supp. Confluens sinuum* je proširenje *sinus sagittalis sup.* u području izbočenja, *prominentia occipitalis interna*. U *confluens sinuum* ulijeva se *sinus rectus, sinus occipitalis* te *parni sinus transversus*.

Sinus sagittalis inf. je manji od *sinus sagittalis sup.*, smješten je u slobodnom rubu duplikature tvrde moždane ovojnice, *falx cerebri*, a završava u *sinus rectus*. *Sinus rectus* se proteže duž spoja *falxa cerebri s tentorium cerebelli*.

Sinus occipitalis nalazi se na mjestu pripoja *falx cerebelli* te povezuje *confluens sinuum* s *plexus venosus vertebralis int.*

Sinus transversus i *sinus sigmoideus* odvođe krv iz konfluens sinuma u unutarnju jugularnu venu.

Sinus cavernosus je čvrno mjesto donje skupine sinusa tvrde moždane ovojnice. To je paran sinus koji je smješten na bočnim stranama trupa klinaste kosti. Čini ga venski splet vrlo tanke stijenke. U njega ulaze *v. ophthalmica sup. et inf., v. cerebri media superficialis* te *sinus sphenoparietalis*. Oba kavernoza sinusa su međusobno povezana pomoću *sinus intercavernosus*. Iz kavernoznog sinusa krv odvođe *sinus petrosus sup.* u *sinus sigmoideus* te *sinus petrosus inf.* u početni dio unutarnje jugularne vene. Dio krvi iz kavernoznog sinusa odlazi i putem emisarnih vena u *plexus pterygoideus*. Unutar kavernoznog sinusa se nalazi *a. carotis int.* i *n. abducens*, dok su u njegovoj lateralnoj stijenci smješteni živci *n. oculomotorius* (n. III), *n. trochlearis* (n. IV) te *n. ophthalmicus* (n. V₁) i *n. maxillaris* (n. V₂). *Plexus basilaris* čini venski splet smješten na klivusu zatiljne kosti između listova tvrde moždane ovojnice. On povezuje *sinus petrosus inf.* desne i lijeve strane kao i *plexus venosus vertebralis internus*. *Plexus basilaris* je sprijeda povezan i s kavernoznim sinusom kao i sa *sinus petrosus superior*, a straga preko *plexus basilaris* ostvaruje komunikaciju i s marginalnim sinusom³⁻⁶.

Sinus marginalis smjestio se duž ruba otvora, *foramen magnum*. Sprijeda komunicira s *plexus basilaris*, a straga sa *sinus occipitalis*. Marginalni sinus može biti povezan i s distalnim dijelom sigmoidnog sinusa kao i s venama kanala hipoglosnog živca. Kaudalno se marginalni sinus otvara u *plexus venosus vertebralis*. U nekim slučajevima kroz njega prolazi i *a. vertebralis*, poput *a. carotis* interne koja prolazi kroz kavernoza sinus⁸.

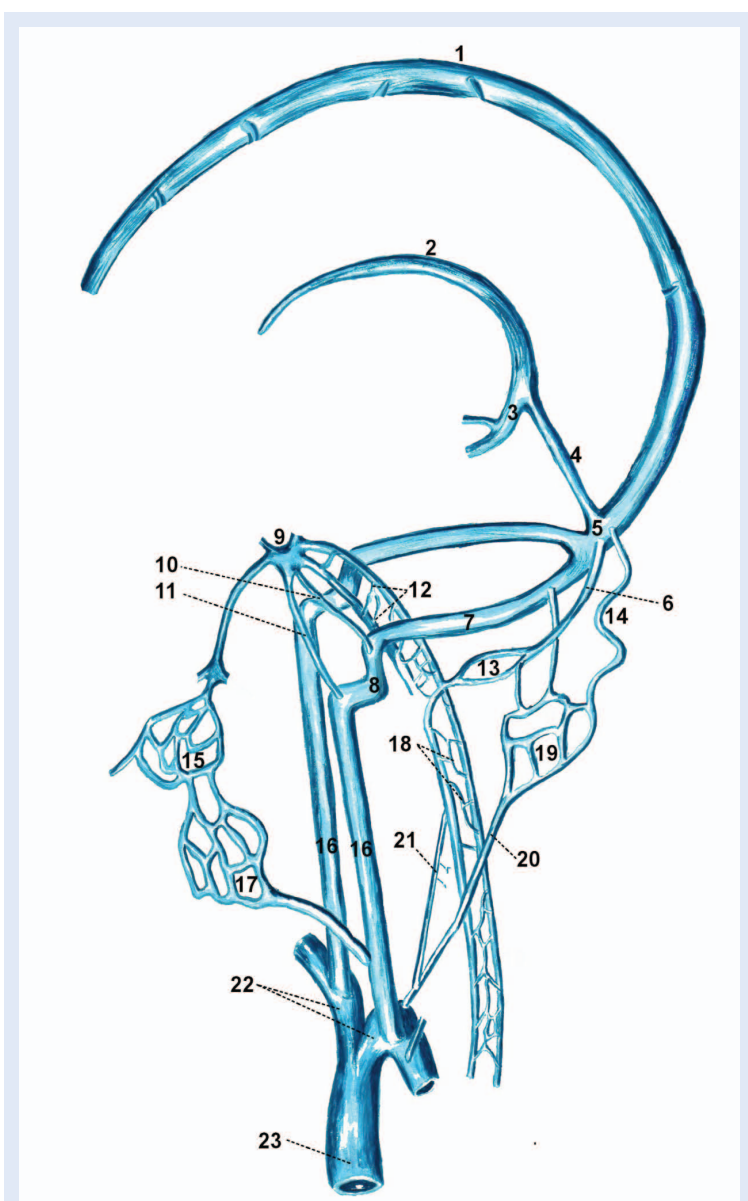
Subokcipitalni kavernozi sinus nalazi se izvan lubanje, između okcipitalne kosti i prvog vratnog kralješka, a unutar listova *durae mater*. Iako je izvan kranijuma građen je slično kao *sinus cavernosus* te ga neki znanstvenici uključuju u intrakranijalne sinuse tvrde moždane ovojnice. Kroz njega prolazi horizontalni odsječak vertebralne arterije, a funkcija mu je da hladi krv prije ulaska u lubanjsku šupljinu. Subokcipitalni kavernozi sinus je povezan pomoću emisarnih vena kondila okcipitalne kosti s *bulbus sup. v. jugularis int.* Isto tako venski splet oko *a. vertebralis* u području drugog vratnog kralješka komunicira sa subokcipitalnim sinusom, a dolje se nastavlja u vertebralnu venu. Lateralni dijelovi subokcipitalnog kavernoznog sinusa povezani su s marginalnim sinusom. Subokcipitalni kavernozi sinus također je povezan i s *plexus venosus vertebralis int. et ext.*^{9,10}.

Vv. *emissariae* – emisarne vene

Vv. *emissariae* prolaze kroz posebne otvore u kranijumu i uspostavljaju vezu između sinusa tvrde moždane ovojnice unutar lubanje s venama izvan nje. U principu, krv kroz emisarne vene teče izvana prema unutrašnjosti lubanjske šupljine. Budući da one nemaju zalistaka, krv može promijeniti svoj tok. Neke emisarne vene su stalne, dok neke nedostaju. Najčešće smještene su iza uha. Najvažnije emisarne vene su smještene u blizini *foramen magnum*, a prolaze kroz *canalis nervi hypoglossi* i *canalis condylaris*^{3-6,8} (slika 1). Budući da su ovi otvori smješteni ispod razine otvora, *foramen jugulare*, u uspravnom položaju venska krv iz područja kranijuma odlazi u *plexus venosus vertebralis*, a ne u *venu jugularis int.*¹¹

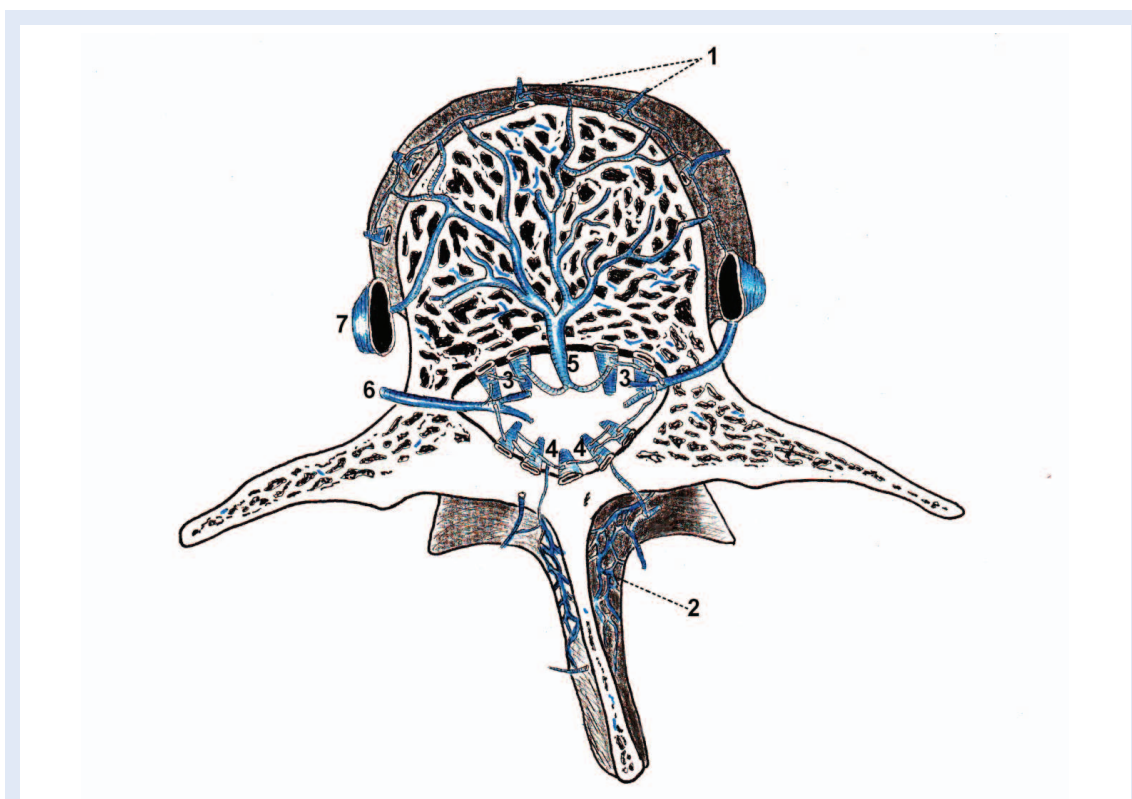
Postoje brojne emisarne vene:

- V. *emissaria mastoidea* prolazi kroz *foramen mastoideum* i povezuje *sinus sigmoideus* s v. *auricularis post.* ili s v. *occipitalis*.
- V. *emissaria parietalis* prolazi kroz *foramen parietale* te povezuje *sinus sagittalis sup.* s v. *occipitalis*. Ona je povezana i s dipločnim venama te na taj način pridonosi hlađenju krvi unutar kalvarije te neizravno i šupljine kranijuma.
- *Plexus venosus canalis nervi hypoglossi*, ili u nekim slučajevima, prisutna samo vena *canalis nervi hypoglossi*, prolazi kroz *canalis n. hypoglossi* povezujući *sinus sigmoideus* s v. *jugularis int.* U žena *foramen mastoideum* može i nedostajati.
- V. *emissaria condylaris post.* prolazi kroz kondilarni kanal i povezuje sigmoidni, marginalni i okcipitalni sinus s *plexus venosus vertebralis int.* te sa subokcipitalnim kavernozi sinusom.



Slika 1. Shematski prikaz sinusa tvrde moždane ovojnice, vena i venskih spletova glave i vrata (modificirano prema Lazzaro⁷).

1 – *sinus sagittalis sup.*; 2 – *sinus sagittalis inf.*; 3 – v. *magna cerebri*; 4 – *sinus rectus*; 5 – *confluens sinuum*; 6 – *sinus occipitalis*; 7 – *sinus transversus*; 8 – *sinus sigmoideus*; 9 – *sinus cavernosus*; 10 – *sinus petrosus sup.*; 11 – *sinus petrosus inf.*; 12 – *plexus basilaris*; 13 – *sinus marginalis*; 14 – vv. *emissariae*; 15 – *plexus pterygoideus*; 16 – v. *jugularis int.*; 17 – *plexus pharyngeus*; 18 – *plexus venosus vertebralis*; 19 – subokcipitalni kavernozi sinus; 20 – v. *vertebralis*; 21 – v. *cervicalis prof.*; 22 – v. *brachiocephalica*; 23 – v. *cava sup.*



Slika 2. Shematski prikaz kralježničnih vena u lumbalnom dijelu kralježnice (modificirano prema Groen¹³).
1 – *plexus venosus vertebralis ext. ant.*; 2 – *plexus venosus vertebralis ext. post.*; 3 – *plexus venosus vertebralis int. ant.*; 4 – *plexus venosus vertebralis int. post.*; 5 – *v. basivertebralis*; 6 – *v. intervertebralis*; 7 – *v. lumbalis ascendens*.

- *Plexus venosus foraminis ovalis* prolazi kroz foramen ovale te povezuje kavernozi sinus i *plexus pterygoideus*.
- *V. emissaria sphenoidalis* prolazi kroz *foramen sphenoidale (Vesalius)* i povezuje *sinus cavernosus* s *plexus pterygoideus et pharyngeus*. Prisutna je u trećini slučajeva.
- *Plexus venosus caroticus int.* prati *a. carotis int.* kroz karotični kanal temporalne kosti i povezuje *sinus cavernosus* s *v. jugularis int.* Ovaj splet vena neki autori ubrajaju u emisarne vene, budući da povezuje sinuse tvrde moždane ovojnice s ekstrakranijalnom venom.
- *V. emissaria occipitalis* povezuje *confluens sinuum* s okcipitalnom venom kroz *protuberanciju okcipitalis*.
- Emisarna vena *foraminis caeci* povezuje *sinus sagittalis sup.* s venama nosne šupljine. Vena je šira pri rođenju nego u odraslih osoba.
- Emisarne vene klivusa povezuju *plexus venosus basilaris* s venama donje površine klivusa u blizini ždrijela.

- Kroz *foramen lacerum* prolaze dvije ili tri emisarne vene, a povezuju kavernozi sinus s venama ždrijela i pterigoidnim spletom.

Venae diploicae – diploične vene

Vv. diploicae smještene su u spongiozi kostiju krova lubanje. Široke su i nepravilnog toka. Počinju se razvijati nakon prve godine života. One komuniciraju s meningealnim venama, sinusima tvrde moždane ovojnice te s venama perikranijuma. Razlikujemo četiri bolje diferencirane diploične vene smještene u čeonj i zatiljnoj kosti te u ljusci sljepoočnih kostiju. Diploična vena u zatiljnoj kosti je i najveća, a povezuje *v. occipitalis*, *sinus transversus* te okcipitalnu emisarnu venu³⁻⁶.

VV. COLUMNAE VERTEBRALIS – KRALJEŽNIČNE VENE

Groen i sur.^{12,13} radi lakšeg opisivanja podijelili su kralježnične vene u tri odjeljka koji su međusobno povezani (slika 2):

- *Plexus venosus vertebralis externus*

– *Plexus venosus vertebralis internus*

– *Vv. basivertebrales*

Plexus venosus vertebralis externus et internus pruža se duž čitave kralježnice, izvan i unutar vertebralnog kanala. Oba pleksusa nemaju zalistaka, slobodno anastomoziraju i ulijevaju se u intervertebralne vene.

Plexus venosus vertebralis externus razvijeniji je u vratnom dijelu i sastoji se od *plexus venosus vertebralis externus anterior et posterior* koji su međusobno povezani. *Plexus venosus vertebralis externus anterior* leži ispred trupova kralježaka i povezan je s bazivertebralnim kao i s intervertebralnim venama.

Plexus venosus vertebralis externus posterior smješten je na stražnjoj površini lukova kralježaka. Splet anastomozira s *plexus venosus vertebralis internus*, a ulijeva se u *vv. vertebrales*, *vv. intercostales post.* i u *vv. lumbales*.

Plexus venosus vertebralis internus leži unutar vertebralnog kanala, u epiduralnom prostoru te prima vene iz kosti i kralježnične moždine. *Plexus venosus vertebralis internus* čine razvijeniju mrežu nego vanjski splet. Izgrađuju ga četiri uzdužne vene, dvije prednje i dvije stražnje te je stoga podijeljen u prednju i stražnju skupinu, a dvije iza te su tako podijeljene u prednju i stražnju skupinu.

Plexus venosus vertebralis internus anterior čine široke vene koje leže na stražnjoj površini trupova kralježaka i pripadajućih intervertebralnih diskusa, bočno od *lig. longitudinale posterior*. Te široke, uzdužno postavljene vene povezane su poprečnim kanalima unutar *lig. longitudinale post.*, a u njih se otvara i *vv. basivertebrales*. *Plexus venosus vertebralis internus posterior* smješten je ispred lukova kralježaka i *ligg. flava* bočno od ravnine simetrije. Taj splet povezuje se s *plexus venosus vertebralis externus posterior* pomoću vena koje prolaze kroz *ligg. flava*.

Plexus venosus vertebralis internus anterior et posterior u području foramina magna povezani su s marginalnim sinusom, okcipitalnim i sigmoidnim sinusom, bazilarnim spletom te s venskim spletom *canalis n. hypoglossi* i kondilarnom emisarnom venom.

V. basivertebrales nalazi se unutar trupa kralješka. Izgrađuju je široki, zavijeni kanali te zbog toga nalikuje diploičnim venama. Otvara se na stražnjoj

površini trupa kralješka gdje se ulijeva u *plexus venosus vertebralis internus anterior*. *V. basivertebrales* se također ulijeva u *plexus venosus vertebralis externus anterior* kroz male otvore na prednjoj i na bočnim površinama trupa kralješka. Na taj način uspostavljena je veza između *plexus venosus vertebralis externus et internus*. *V. basivertebrales* proširuje se s životnom dobi.

Vv. intervertebrales izlaze kroz *foramina intervertebralia* prateći spinalne živce. U njih se ulijevaju vene kralježnične moždine, *plexus venosus verte-*

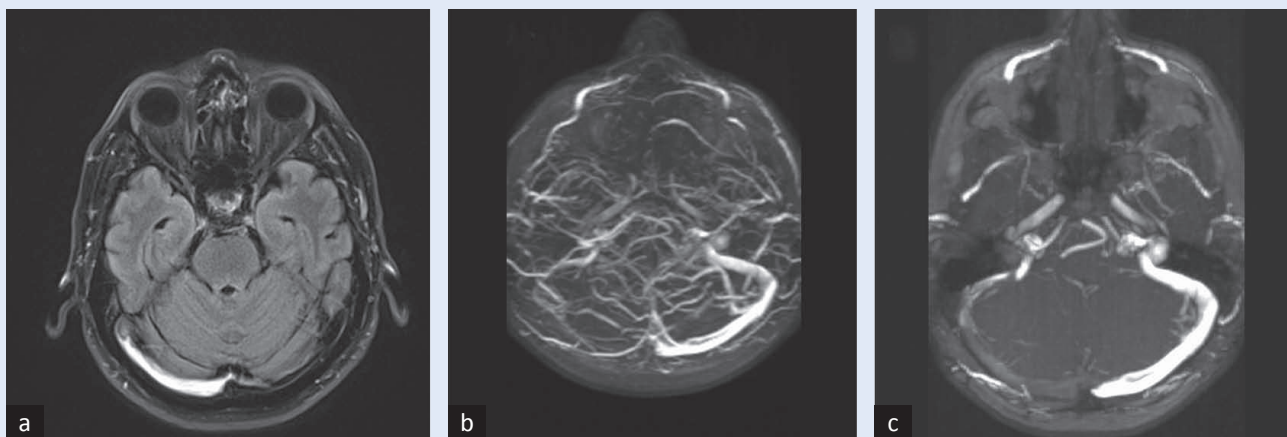
Važnost kraniovertebralnog venskog sustava nije samo u kontroli hemodinamskih i metaboličkih promjena u fiziološkim uvjetima organizma, već i pri patofiziološkim promjenama, kao što su, primjerice, akutno povećanje intrakranijalnog tlaka ili u hipertermiji.

bralis externus et internus, a završavaju u vertebralnim venama, *vv. intercostales post.*, *vv. lumbales* i u *v. sacralis lat.* *Vv. Basivertebrales*, kao i *vv. intervertebrales* nemaju zalistaka pa krv teče u oba smjera. To objašnjava mogućnost širenja neoplazmi iz zdjelice i pojavu metastaza u trupovima kralježaka^{3-6,14}.

EKSTRAKRANIJALNA VENSKA DRENAŽA

Sakupljena krv u sinusima tvrde moždane ovojnice usmjerava se prema glavnim ekstrakranijalnim putovima odvodnje, a to su *v. jugularis int.* i *plexus venosus vertebralis*. Naime, ekstrakranijalna venska drenaža ovisi o stavu tijela i o centralnom venskom tlaku. *V. jugularis int.* predstavlja glavni odvodni put iz kranijuma u ležećem položaju. Budući da se *v. jugularis int.* nalazi iznad razine srca, u uspravnom stavu dolazi do njenog kolapsa te se krv preusmjerava u *plexus venosus vertebralis* i kasnije u sustav vene azigos¹⁵.

U uspravnom stavu čovjeka velika količina krvi iz područja kranijuma slijeva se prema srcu, što zahtijeva i dostatan kapacitet odvodnih krvnih žila da se krv ne bi zadržavala u području kranijuma. Tako je, tijekom evolucije čovjeka došlo do stvaranja dodatnih komunikacijskih otvora na bazi lubanje kojima prolaze *vv. emissariae*. One zajedno s vertebralnim venskim spletom predstavljaju važan dinamički sustav koji kod čovjeka preuzima



Slika 3. Tromboza desnog transverzalnog sinusa.
a) MR – FLAIR; b) 3D TOF MR venografija; c) MR venografija – kontrast

glavnu ulogu odvođenja venske krvi iz područja kranijuma u upravnom stavu^{16,17}.

Plexus venosus vertebralis u vratnom i gornjem torakalnom dijelu smješten je niže od razine početnog dijela *v. jugularis int.* Čine ga žile većeg kalibra i velikog je kapaciteta. Djeluje kao sifon omogućujući optimalnu odvodnju venske krvi iz mozga te ima istaknutu zaštitnu ulogu¹⁸. No, prilikom Valsalvinog manevra (prisilni ekspirij uz zatvoreni glotis) dolazi do porasta intratorakalnog tlaka, a time i centralnog venskog tlaka te krv ponovno ispuni unutarnju jugularnu venu¹⁹.

Temeljna razlika između kraniovertebralnog venskog sustava i sistemskog venskog sustava nedostatak je zalistaka, što omogućava tok krvi u oba smjera i retrogradni tok. On djeluje kao rezervoar velikog kapaciteta i uravnotežuje tok krvi prema mozgu, kao i iz mozga, a i u druge venske sustave. Herlihy² je kraniovertebralni venski sustav opisao kao „sustav plime i oseke”. Ovim terminom htio je naglasiti da je to sustav relativno velikog kapaciteta (do 1000 mL), bez zalistaka, promjenljivog toka ovisno u stavu tijela kao i mogući put kretanja tumorskih stanica, embolusa i infekcija u oba smjera, prema mozgu ili iz njega. Ovaj sustav nadalje omogućava homeostazu u cerebralnoj cirkulaciji, budući da je kraniovertebralni venski sustav opisan i kao „jezero venske krvi” iz kojeg je omogućen nesmetan tok krvi ovisno o položaju tijela te intratorakalnom i intraabdominalnom tlaku. Naime, prilikom porasta intratorakalnog i intraabdominalnog tlaka, krv ulazi u *plexus venosus vertebralis ext. et int.*²⁰

U skladu s time, prilikom svakog naprezanja, kašljanja ili podizanja teških predmeta, ne samo da je onemogućen ulazak krvi u grudnu i trbušnu šupljinu, nego ona biva praktički istisnuta iz nje. Na taj način tumori i apscesi grudne i trbušne stijenke, uključujući i dojku, tumori i apscesi pluća i zdjelice te rame-nog obruča imaju nesmetan put širenja unutar kraniovertebralnog venskog sustava bez da se pritom uključuju portalni, pulmonalni ili kavalni venski sustav²¹.

Porastom intrakranijalnog tlaka uspostavljaju se kolateralni putovi koji preusmjeravaju krv u sustave vena izvan kraniovertebralnog venskog sustava¹⁵. Do porasta intrakranijalnog tlaka može doći između ostalog i uslijed tromboze sinusa tvrde moždane ovojnice. Najčešći slučajevi u praksi su tromboza *sinus sagittalis superior*, *sinus transversus* te tromboza *bulbus superior v. jugularis int.*²² (slika 3).

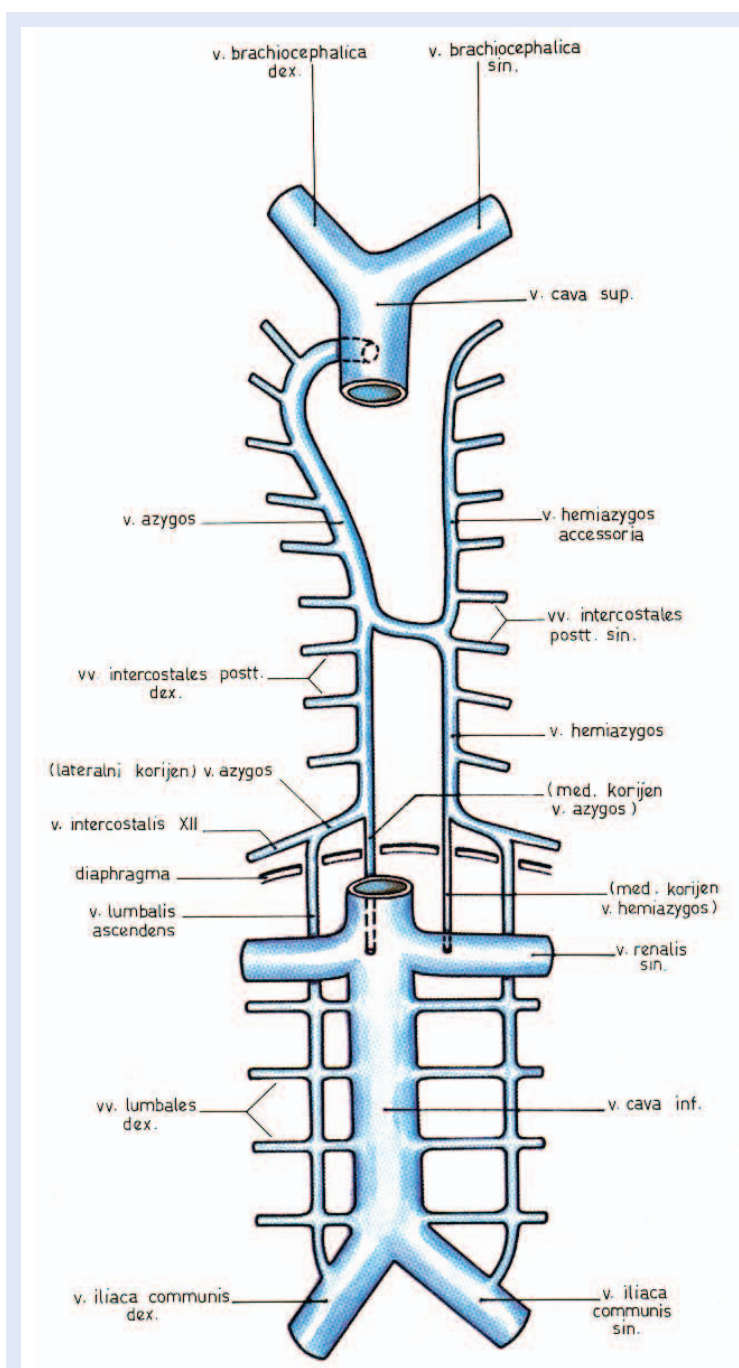
ANASTOMOZE KRANIOVERTEBRALNOG SUSTAVA S OKOLNIM VENAMA

Intervertebralne vene koje napuštaju cervikalne, torakalne, lumbalne i sakralne dijelove kralježnice povezuju *plexus venosus vertebralis externus* i *internus* te komuniciraju s venama koje su smještene izvan kralježnice, a pružaju se longitudinalno, u kraniokaudalnom smjeru. U tu skupinu ubrajamo vertebralne vene, sustav vene azigos i *vv. lumbales ascendens*. Utok ovih vena ovisi o tome kojem nivou kralježnice pripadaju²³.

U vratnome dijelu vensku krv u gornju šuplju venu odvođe vertebralne vene, duboke cervikalne vene te jugularne vene. Vertebralne vene prate istoime- ne arterije kroz *foramina transversaria* prvih 6 vertebralnih kralježaka. *V. vertebralis* nastaje u subokcipitalnom području iz marginalnog i sigmoidnog sinusa, unutarnjeg vertebralnog venskog spleta i subokcipitalnog kavernoznog sinusa²⁴. Ove vene čine splet oko vertebralne arterije u obliku slova "U" ili poput kolutova, koji prolazi kroz foramina trasversaria prvih 6 vratnih kralježaka. Zatim se spaja s *v. cervicalis prof.* te se ulijeva u brahiocefaličnu venu. Intervertebralne vene u području vrata također se ulijevaju u vertebralnu venu.

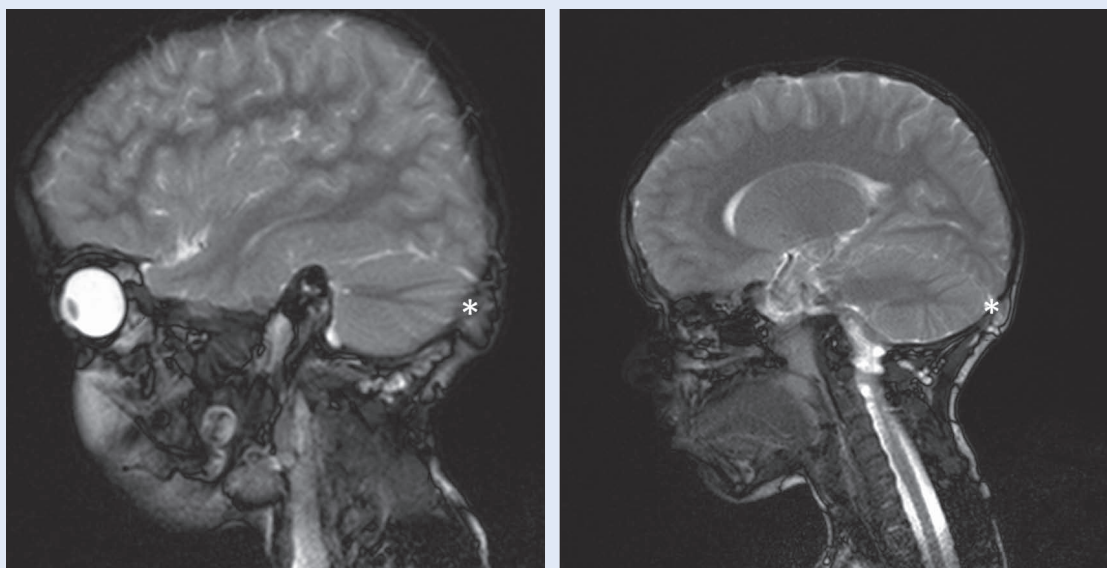
Venska krv iz torakalnih i lumbalnih intervertebralnih vena odvodi se putem sustava vene azigos^{25,26} (slika 4). Desna *v. lumbalis ascendens* nastavlja se u venu azigos, a lijeva u venu hemiazigos, koja se u razini Th8 ili Th9 ulijeva u venu azigos. *V. hemiazigos accesoria* prima krv iz gornjih lijevih torakalnih intervertebralnih vena. Ona se u razini Th8 ili Th9 ulijeva u venu hemiazigos ili direktno u venu azigos. *V. azigos* ulijeva se u gornju šuplju venu^{3,5,25,26}. *Plexus venosus vertebralis externus anterior* može anastomozirati s venama gornjeg dijela jednjaka, što je pokazano u pacijenata sa sindromom gornje šuplje vene. U ovom slučaju varikoziteti se nalaze u gornjoj trećini jednjaka (engl. *downhill varices*), a krvarenja su rijetka^{27,28}. U gornjem dijelu grudne šupljine *plexus venosus vertebralis internus* putem intervertebralnih vena anastomozira s *v. intercostalis superior*. Batson i sur.^{21,29} su injicirali radioaktivno boju u potkožje dojke i pokazali prisutnost boje u *plexus venosus vertebralis*, sinusima tvrde moždane ovojnice, uključujući *sinus transversus* i *sinus sagittalis sup.*

Plexus venosus vertebralis internus povezan je s lumbalnim i interkostalnim venama, sustavom vene azigos kao i s donjom šupljom venom. Kolateralna povezanost između vene azigos i donje šuplje vene ostvaruje se preko lijeve bubrežne vene, budući da *v. renalis sin.* u mnogim slučajevima komunicira s donjim dijelom vene hemiazigos. Ako je *v. azygos* opstruirana, dolazi do vraćanja krvi *putem v. hemiazigos* do *v. renalis sin.*, odnosno do donje šuplje vene, što u konačnici ima za posljedicu nedovoljni odtok krvi iz područja kraniovertebralnog sustava³⁰⁻³².



Slika 4. Shematski prikaz sustava vene azigos (preuzeto uz suglasnost, Križan²⁶)

U lumbosakralnom području *v. lumbalis ascendens* povezana je s donjom šupljom venom putem 4 horizontalne, lumbalne segmentalne vene. Prva i druga lumbalna segmentalna vena obično se spajaju prije utoka u donju šuplju venu. Vene iz sakralnog područja, *vv. sacrales*, ulijevaju se u *v. sacralis lat.* te krv odlazi u unutarnju ilijačnu venu. Postoje brojne varijacije u skupini vena



Slika 5. *Sinus pericranii* (zatiljno, označeno *), MR kontrast.

izvan kralježnice kojima se ostvaruju zamjenski venski putovi. Ako je, npr. *v. cava inf.* okludirana ili nedostaje, krv iz donjih ekstremiteta ulazi u srce preko sustava vene azigos u gornju šuplju venu, a isto tako i u *plexus venosus vertebralis int.*³². Tako prošireni venski splet u lumbosakralnom području može uzrokovati ishialgiju³³.

Povezanost s kranijalnim venama pokazuju i kaudalnije smještene sakralne i pelvične vene te prostatički venski splet. Naime, Anderson³⁴ je nakon injiciranja kontrastnog sredstva u *v. dorsalis penis prof.* prikazao njegovo nakupljanje u *sinus sagittalis sup.*, u *confluens sinuum*, *vv. cerebrales sup.*, *sinus rectus*, *v. magna cerebri*, *sinus petrosus sup. et inf.* te u *plexus basilaris*.

Isto tako, opisan je još jedan ekstrakranijalni venski splet u području ždrijela, *plexus pharyngeus*. On ima vrlo važnu ulogu jer je povezan s pterigidnim spletom, a putem njega i sa sinusima tvrde moždane ovojnice, prvenstveno s kavernoznim sinusom¹⁵.

Kao klinički slučaj navodi se i *sinus pericranii* koji predstavlja patološku komunikaciju između proširenih epikranijalnih vena i sinusa tvrde moždane ovojnice putem diploičnih vena. Varikoziteti se nalaze u periostu, rastezljivi su i mijenjaju veličinu ovisno o intrakranijalnom tlaku. Ako se pravovremeno ne prepozna, može doći do nekontroliranog intraoperativnog krvarenja³⁵ (slika 5).

MEHANIZMI TERMOREGULACIJE MOZGA

Iako na ljudski mozak otpada 2 % tjelesne težine, mozak proizvodi značajnu količinu topline koja se kontinuirano mora odvoditi. Cirkulacija krvi u mozgu predstavlja osnovni način odvođenja nastale topline³⁶. Osim hipotalamusa koji obavlja centralnu kontrolu tjelesne temperature³⁷, u literaturi se opsežno opisuju i dodatni mehanizmi termoregulacije mozga koje uključuje opće prihvaćeni pojam selektivnog rashlađivanja mozga (engl. *selective brain cooling*)³⁸.

Selektivno rashlađivanje mozga definirano je kao "snižavanje temperature mozga lokalno ili putem snižene temperature arterijske krvi". Ono podrazumijeva prirodne mehanizme koji utječu na održavanje temperature mozga ispod razine povišene tjelesne temperature tijekom hipertemije. Učinjena su brojna istraživanja na sisavcima u laboratorijskim uvjetima, gdje je dokazano da selektivno rashlađivanje mozga kod većine životinja ima važnu ulogu u njegovoj termoregulaciji³⁸.

Postoje tri načina rashlađivanja mozga: hlađenje venske krvi koja posljedično rashlađuje arterijsku (*a. carotis int.* u kavernoznom sinusu)³⁹, odvođenje topline putem vena lica, skalpa, emisarnih i diploičnih vena⁴⁰ te rashlađivanje putem gornjih dišnih puteva⁴¹. Posljednja dva mehanizma dovode do selektivnog rashlađivanja mozga. Oni omogućuju hlađenje sinusa tvrde moždane ovojnice,

a posljedično i sam mozak, kao i arterijsku krv unutarnje karotične arterije smještene unutar kavernoznog sinusa. Naime, kavernozni sinus ima ulogu „protustrujnog izmjenjivača topline“, pri čemu se toplija arterijska krv rashlađuje okolnom venskom koja je oplahuje³⁹.

Venska krv se hladi isparavanjem znoja s površine lica i skalpa te takva putem *vv. emisaria* ulazi u sinuse tvrde moždane ovojnice. Osim toga, putem emisarnih vena ulazi u diploične vene te se na taj način hladi i koštana stijenka, *calvaria*. Postignuta snižena temperatura unutar kranijalne šupljine zadržava se pomoću potkožnog masnog tkiva i kože smještene povrhu nje. S druge strane, udisanjem svježeg zraka preko usne i nosnih šupljina, dolazi do hlađenja venskih spletova u sluznicama nosnih šupljina i paranazalnih sinusa kao i u sluznici ždrijelne šupljine. Tako ohlađena venska krv ulijeva se u *plexus pterygoideus* te preko njega i u kavernozni sinus. Kroz kavernozni sinus prolazi *a. carotis interna* kojom se arterijska krv hladi okolnom venskom krvi koja se nalazi u istoimenom sinusu. Ohlađena venska krv u sinusima tvrde moždane ovojnice hladi i samu ovojnicu i susjedni subarahnoidalni prostor ispunjen cerebrospinalnim likvorom. Na taj način se izravno hladi površina mozga kao i arterije koje se nalaze u tom prostoru⁴².

Testiranja na ljudskom mozgu su ograničena nemogućnošću izravnog mjerenja temperature, dok su istraživanja na laboratorijskim životinjama pokazala velike razlike između vrsta zbog razlika u veličini mozga, morfologiji kranijuma i anatomiji krvnih žila⁴³. U čovjeka se za vrijednost temperature mozga uzima temperatura timpanične membrane. Ako je ona niža od tjelesne temperature (rektalna ili ezofagealna), potvrda je postojanja selektivnog rashlađivanja mozga⁴⁴.

Cabanac i Brinnet⁴⁰ opisali su da tijekom hipertermije krv ulazi u šupljinu kranijuma kroz mastoidne i parijetalne emisarne vene, dok se kod hipotermije prekida tok krvi ili mu je smjer promijenjen. White i Cabanac⁴⁴ su također pokazali da tijekom hipertermije dolazi do vazodilatacije u sluznici nosne šupljine, a hiperpneja i dodatna dilatacija nosnica ubrzava proces hlađenja krvi. Zijevanje također sudjeluje u termoregulaciji mozga. Tijekom zijevanja dolazi do povećanja cirkulacije u području

ju glave i vrata^{45,46}, a dubokim udisajem dolazi do povećanog protoka cerebrospinalnog likvora i do pojačanog protoka u unutarnjoj jugularnoj veni⁴⁷. *Plexus pterygoideus* koji okružuje *m. pterygoideus lat.* djeluje kao periferna pumpa koja tijekom kontrakcije mišića za vrijeme zijevanja praktički istisne krv prema kavernoznom sinusu⁴⁸. Isto tako zijevanjem dolazi do udisaja hladnijeg zraka koji hladi vensku krv u nosnim šupljinama i ždrijelu^{49,50}. Ovi rezultati podržavaju hipotezu o selektivnom hlađenju mozga, kao dodatnoj mogućnosti u postizanju normotermije mozga.

Pojedini autori se ne slažu s teorijom selektivnog rashlađivanja mozga u čovjeka jer smatraju da je ono onemogućeno zbog velikog volumena mozga, kao i niske toplinske provodljivosti moždanog tkiva⁴³. Osim toga, smatraju da je u čovjeka preslabo razvijen kavernozni sinus, odnosno da je prekratak odsječak *a. carotis int.* unutar njega^{51,52}. Unatoč tomu brojna istraživanja idu u prilog činjenici da tijekom hipertermije dolazi do kombiniranih utjecaja prethodno opisanih putova kojima se postiže hlađenje mozga venskom i arterijskom krvlju, što dovodi do snižavanja temperature unutar kranijalne šupljine.

ZAKLJUČAK

Osobitost kraniovertebralnog venskog sustava je anatomski i funkcionalna povezanost vena i venskih sinusa u kranijumu s venskim spletovim kralježnice. Zbog kontinuiteta i izostanka zalistaka, protok krvi moguć je u oba smjera. Kraniovertebralni venski sustav sastoji se od kranijalnih i kralježničnih vena. Kraniovertebralni venski sustav ima značajnu ulogu u regulaciji intrakranijalnog tlaka, odvođenju krvi iz kranijuma te u uspostavi kolateralnog optoka, budući da anastomozira sa sustavima gornje i donje šuplje vene te s površnim venama lica, skalpa i stijenkama prsne, trbušne i zdjelice šupljine, što je od iznimne kliničke važnosti. Te anastomoze omogućuju izravno širenje krvlju tumora, infekcija i embolusa u oba smjera.

Tijekom hipertermije dolazi do selektivnog rashlađivanja mozga putem ohlađene venske krvi sinusa tvrde moždane ovojnice koja na taj način hladi arterijsku krv kao i samo moždano tkivo.

Izjava o sukobu interesa: Autori izjavljuju da ne postoji sukob interesa.

LITERATURA

1. Epstein HM, Linde HW, Crampton AR, Ciric IS, Eckenhoff JE. The vertebral venous plexus as a major cerebral venous outflow tract. *Anesthesiology* 1970;32:332-7.
2. Herlihy WF. Revisions of the venous system; the role of the vertebral veins. *M J Australia* 1947;34:661-72.
3. Lazzaro MA, Zaidat OO, Mueller-Kronast N, Taqi MA, Woo D. Endovascular therapy for chronic cerebrospinal venous insufficiency in multiple sclerosis. *Front Neurol* 2011;2:1-7.
4. Standring S. *Gray's anatomy*. 39th Edition. New York: Churchill Livingstone Elsevier, 2005.
5. Križan Z. *Kompandij anatomije čovjeka, II dio. Pregled građe glave vrata i leđa*. II. dio. Zagreb: Školska knjiga, 1989.
6. Krmpotić Nemančić J, Marušić A. *Anatomija čovjeka*. 2. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada, 2002.
7. Moore KL, Dalley AF. *Clinically oriented anatomy*. 5th Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
8. Tubbs RS, Ammar K, Liechty P, Wellons III JC, Blount JP, Salter G et al. The marginal sinus. *J Neurosurg* 2006; 104:429-31.
9. Arnautović Kl, Al-Mefty O, Pait TG, Krisht AF, Husain MM. The suboccipital cavernous sinus. *J Neurosurg* 1997; 86:252-62.
10. Caruso RD, Rosenbaum AE, Chang JK, Joy SE. Craniocervical junction venous anatomy on enhanced MR images: The suboccipital cavernous sinus. *Am J Neuroradiol* 1999;20:1127-31.
11. Mortazavi MM, Tubbs RS, Verma K, Shoja MM, Zurada A, Benninger B et al. Anatomy and pathology of the cranial emissary veins: A review with surgical implications. *Neurosurgery* 2012;70:1312-9.
12. Groen RJ, Groenewegen HJ, van Alphen HA, Hoogland PV. Morphology of the human internal vertebral venous plexus: a cadaver study after intravenous Araldite CY 221 injection. *Anat Rec* 1997;249:285-94.
13. Groen RJM, du Toit DF, Phillips FM, Hoogland PVJM, Kuzenga K, Coppes MH et al. Anatomical and pathological considerations in percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty: a reappraisal of the vertebral venous system. *Spine* 2004;29:1465-71.
14. Batson OV. The vertebral vein system. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1957;78:195-212.
15. Zamboni P, Consorti G, Galeotti R, Giancesini S, Menegatti E, Tacconi G et al. Venous collateral circulation of the extracranial cerebrospinal outflow routes. *Curr Neurovasc Res* 2009;6:204-12.
16. Valdeza JM, von Münster T, Hoffman O, Schreiber S, Einhäupl KM. Postural dependency of the cerebral venous outflow. *Lancet* 2000;355:200-1.
17. Menegatti E, Zamboni P. Doppler hemodynamics of cerebral venous return. *Curr Neurovasc Res* 2008;5:260-5.
18. Eckenhoff JE. The vertebral venous plexus. *Canad Anaesth Soc J* 1971;18:487-95.
19. Gisolf J, van Lieshout J, van Heusden K, Pott F, Stok WJ, Karemaker JM. Human cerebral venous outflow pathway depends on posture and central venous pressure. *J Physiol* 2004;560:317-27.
20. Weir B. Multiple sclerosis – a vascular etiology? *Can J Neurol Sci* 2010;37:745-57.
21. Batson O. The function of the vertebral veins and their role in the spread of metastases. *Ann Surg* 1941;112: 138-49.
22. Saposnik G, Barinagarrementeria F, Brown RD, Bushnell CD, Cucchiara B, Cushman M et al. Diagnosis and management of cerebral venous thrombosis: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2011;42: 1158-92.
23. Abrams H. The vertebral and azygos venous systems and some variations in systemic venous return. *Radiology* 1957;69:508-26.
24. Schreiber SJ, Lurtzing F, Gotze R, Doepp F, Valdeza JM. Extrajugular pathways of human cerebral venous blood drainage assessed by duplex ultrasound. *J Appl Physiol* 2003;94:1802-5.
25. Bobinac D, Dujmović M. *Osnove anatomije*. Rijeka: Gloša, 2003.
26. Križan Z. *Kompandij anatomije čovjeka, III dio. Pregled građe grudi, trbuha, zdjelice, noge i ruke*. 2. izdanje. Zagreb: Školska knjiga, 1997.
27. Ibukuro K, Fukunda H, Mori K, Inoue Y. Topographic anatomy of the vertebral venous system in the thoracic inlet. *Am J Roentgenol* 2001;176:1059-65.
28. Felson B, Lessure AP. "Downhill" varices of the esophagus. *Dis Chest* 1964;46:740-6.
29. Batson OV. The vertebral system of veins as a means for cancer dissemination. *Prog Clin Cancer* 1967;3:1-18.
30. Hoffmann O, Klingelbiel R, Braun JS, Katchanov J, Valdeza JM. Diagnostic pitfall: atypical cerebrovenous drainage via the vertebral venous system. *Am J Neuroradiol* 2002;23:408-11.
31. Zamboni P, Galeotti R. The chronic cerebrospinal venous insufficiency syndrome. *Phlebology* 2010;25: 269-79.
32. Dommissie G. The venous drainage of the spinal cord. *In: The arteries and veins of the human spinal cord from birth*. New York: Churchill Livingstone, 1975;81-96.
33. Juan LJ, Argüelles CF, Gallardo JM. Low back pain secondary to lumbar epidural venous plexus dilatation due to compression of the inferior vena cava. *Radiologia* 2008;50:159-62.
34. Anderson R. Diodrast studies of the vertebral and cranial venous systems to show their probable role in cerebral metastases. *J Neurosurg* 1951;8:411-22.
35. Seong-Cheol P, Seung-Ki K, Byung-Kyu C, Hyun JK, Jeong EK, Ji HP, In-One K et al. Sinus pericranii in children: report of 16 patients and preoperative evaluation of surgical risk. *J Neurosurg Pediatrics* 2009;4:536-42.
36. Schmidt-Nielsen K. *Animal physiology. Adaptation and environment*. 5th ed. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1997.
37. Cooper KE. Some historical perspectives on thermoregulation. *J Appl Physiol* 2002;92:1717-24.
38. Baker MA. Brain cooling in endotherms in heat and exercise. *Annu Rev Physiol* 1982;44:85-96.
39. Cabanac M, Caputa M. Natural selective cooling of the human brain: Evidence of its occurrence and magnitude. *J Physiol (Lond)* 1979;286:255-64.
40. Cabanac M, Brinell H. Blood flow in the emissary veins of the human head during hyperthermia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985;54:172-6.

41. White MD, Cabanac M. respiratory heat loss and core temperatures during submaximal exercise. *J Thermal Biol* 1995;20:489-96.
42. Zenker W, Kubik S. Brain cooling in humans – anatomical considerations. *Anat Embryol (Berl)* 1996;193:1-13.
43. Nelson DA, Nunneley SA. Brain temperature and limits on transcranial cooling in humans: quantitative modeling results. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;78: 353-9.
44. White MD, Cabanac M. Nasal mucosal vasodilatation in response to passive hyperthermia in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;70:207-12.
45. Askenasy JJM. Is yawning an arousal defense reflex? *J Psychol* 1989;123:609-21.
46. Zajonc RB. Emotion and facial efference: a theory reclaimed. *Science* 1985;288:15-21.
47. Schroth G, Klose U. Cerebrospinal fluid flow. Physiology of respiration related pulsations. *Neuroradiology* 1992; 35:10-5.
48. Bhangoo KS. Why the yawn? *N Engl J Med* 1974;290: 1440.
49. Zenker W, Kubik S. Brain cooling in humans – anatomical considerations. *Anat Embryol (Berl)* 1996;193:1-13.
50. Gallup AC, Eldakar OT. The thermoregulatory theory of yawning: what we know from five years of research. *Front Neurosci* 2013;6:1-13.
51. Crezee J, Legendijk JJ. Temperature uniformity during hyperthermia: the impact of large vessels. *Phys Med Biol* 1992;37:1321-37.
52. Jessen C. Selective brain cooling in mammals and birds. *Jpn J Physiol* 2001;51:291-301.