

Gibeleko minbiziaren aurkako borrokan indarrak batuz

Greziar mitologiaren arabera, Prometeok sua lapurtu zuen Olinpo menditik eta gizakiei eman zien. Orduan, Zeusek zigortu egin zuen: haitz batean lotu zuen eta, denboraldi batez, arrano bat bidali zuen, gauero, haren gibeledko zatiak jatera. Hala ere, hurrengo goizean, aldiro, Prometeori osatu egiten zitzaion gibela, atzera; gauean, ordea, arranoak berriz egiten zion sarraskia sabelean. Horrela behin eta berriz, betirako. Askotan esan izan da gizakiaren sendotasuna eta ahultasuna irudikatzen dituela Prometeoren gibelak, aldi berean; gauero suntsitua, goizero sortua.

Pasarte horrek erakusten du antzinatek direla eza-gunak gibelaren izaera berezia eta garrantzia. Izan ere, ezin uka gibela dela gizakion (eta, orokorrean, animalia ornodunon) organo garrantzitsuenetakoa. Hala, minbiziak heriotza mordoa eragiten du gibelari eraso egiten dionean; minbizien artean, hilgarrietan bigarrena da [1]. Gainera, koloneko, pankreako edota bularreko minbiziak duten pazienteen % 60-80k gibeledko metastasiak ere izaten ditu; hau da, gibeletik kanpo sortutako tumoreak gibelera hedatzen dira [2]. Bistakoa da, horrenbestez, gibeledko minbiziaren inguruko ikerketak garrantzitsuak direla oso. Haiei esker iritsi dira hainbat tratamendu; erradioenbolizazio izenekoa, besteak beste. Azken urteotan, nagusitzen ari da azken hori.

Hurrengo lerroetan, azalduko da zer ekarpen interesgarri egin diezazkioketen ingeniari industrialek erradioenbolizazioari eta, oro har, medikuntzari. Ezinbestekoa da, erronka berri gero eta konplexuagoei aurre egitekotan, hainbat esparrutako profesionalek norabide berean, lankidetzan, jardutea.

Hau idatzi duena Nafarroako Unibertsitatea Klinikako medikuekin aritu da elkarlanean. Hain zuzen ere, doktoretza-tesian, erradioenbolizazioa aztertu du, bai eta tratamenduan eragina izan dezaketen hainbat aldagai ere.

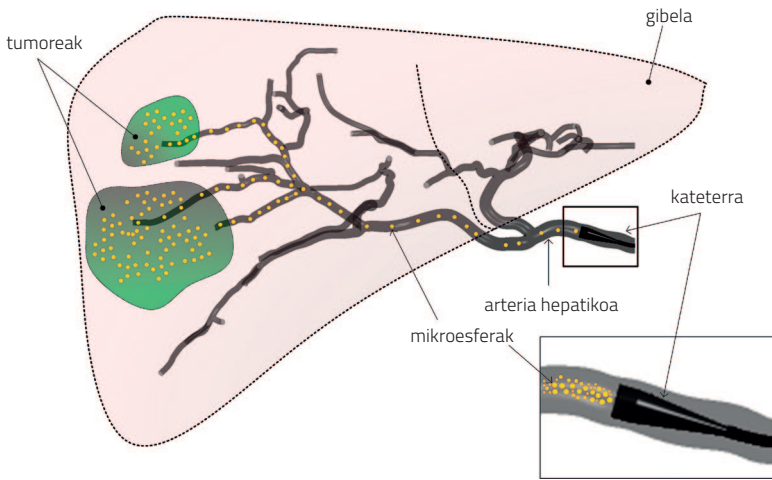
Erradioenbolizazioa

Enbolizazioa odol-hodiak buxatzea (ixtea) da; odolaren garraioa oztopatzea, ekiditea, finean. Irradiazioa, aldiz, zera da: energia erradioaktiboa helburu terapeutikoekin erabiltzea.

Erradioenbolizazioan, medikuak arteria femoralean (iztondo inguruan) ebaki bat egiten du, eta kateterra (1 mm-ko diametrokoa, gutxi gorabehera) sartzen du bertan. Gero, arteria hepatikoraino (gibeledko arteria) eramaten du, eskuz. Behin kateterraren muturra arteria hepatikoan dagoenean, 32 µm-ko diametroa duten (eta uretan dauden) mikroesfera erradioaktiboak injektatzen ditu. Odol-fluxuak berearekin garraiatzen ditu mikroesferak. Helburua da partikula erradioaktiboak tumoreetara bideratzea eta gibelaren zati osasuntsuak ahalik eta gutxien irradiatzea (ikus 1. irudia).

Mikroesferak itrio-90 erradioisotopoa dute itsatsitaita (beta-irradiazioa igortzen du, 2,5 mm inguruko itzulginguruan; 2,6 eguneko batez besteko bizitza du). Tratamenduak ordubete inguru irauten du, eta, normalean, gaixoa egunean bertan itzultzen da etxera.

Hala ere, gorputzean erradiazio-iturri diren mikroesferak xiringatu baino lehen, beharrezkoa da aurrez tratamendu bat egitea, partikulak toki egokira iritsiko direla ziurtatzeko. Aurretratamendua



1. irudia. Gibelean erradioenbolizazioa, eskematikoki: mikroesfera erradioaktiboak injektatzen dira, arteria hepatikoko kateter baten bidez. Helburua da tumoreak odolez hornitzen dituzten arterietara bideratzea mikroesferak, eta gibelean osasuntsuari ahalik eta kalterik txikiena eragitea.

kaltegarri ez diren partikulekin egiten da. Hala, irudi medikoen bidez, mikroesferen jomuga aztertzen da. Eta azterketa horrek balio du erabakitzekeo tratamenduan (*sensu stricto*) kateterrak zer posizio izango duen eta mikroesferak zer abiadurarekin injektatu behar diren.

Tratamendua segurua eta eraginkorra da. Haatik, kontuan izan behar da medikuak eskuz kokatzen duela kateterra eta eskuz xiringatzen dituela mikroesferak. Beraz, kateterraren kokapena eta partikulen injektzio-abiadura zehatzak ez badira, eta, ondorioz, tratatu behar ez diren guneak irradiatzen badira, hainbat arazo sor daitezke; hepatitisa, pneumonia eta urdail eta hesteetako ultzerak, adibidez.

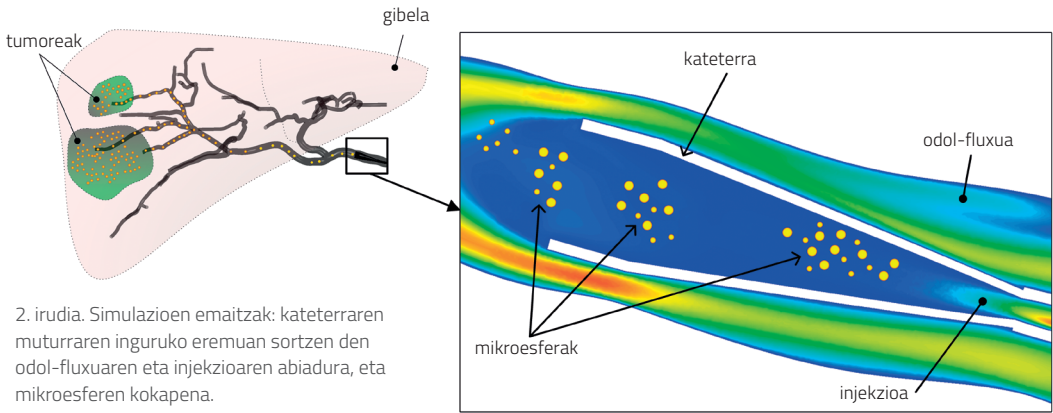
Ingeniariak erradioenbolizazioaren armadari batuz

Erradioenbolizazioa tratamendu konplexua da zinez, erradiologia-interbentzionisten, erradiatio-onkologoaren, mediku nuklearren eta abarren elkarlana behar baitu (fisikari medikuena, hepatologoena...). Aipatutako tesian, ingeniariak batu ziren talde anitz horretara, arteria hepatikoko odol-fluxuaren dinamika eta bertako partikulen jokaera aztertzeko asmoz.

Ikerketan, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tresna erabili da odol-fluxua eta mikroesferen garraioa simulatzeko. CFDak geometria, fenomeno fisikoaren ekuazioak eta muga-baldintzak hartzen ditu aintzat. Geometria zera da, definitzea non, zein eremutan, aztertuko den odol-fluxua eta mikroesferen garraioa. Fenomeno fisikoaren ekuazioek, aldiz, odol-fluxua eta mikroesferen garraioa bera definitzen dituzte. Azkenik, muga-baldintzak ezartzeak esan nahi du ezaugarri jakinak ipini direla aztertuko den eremuaren mugetan; bai odol-fluxuari dagokionez (presioa eta abiadura), bai mikroesferari dagokienez (abiadura).

Hiru osagaiak egoki definituz gero, eredu fidagarria osa daiteke. Eta eredu fidagarriarekin egindako simulazioek, jakina, fin irudikatzen dituzte odolaren presioa eta abiadura eta partikulen abiadura. 2. irudian ikus daitezke, esaterako, kateterraren inguruko odol-fluxuaren abiadura eta mikroesferen kokapena.

Baina garbi izan behar da garraioaren lehen zatian gertatzen dena soilik azter daitekeela analisisan. Ez dago modurik, oraindik, mikroesferak arteria txikietan zehar nola bidaiatzen duten ikusteko; ezta irradiazioak tumorean zer eragin duen ikusteko ere. Horregatik, ikerketan, erradioenbolizazioa arrakas-



2. irudia. Simulazioen emaitzak: kateterraren muturraren inguruko eremuan sortzen den odol-fluxuaren eta injekzioaren abiadura, eta mikroesferen kokapena.

tatsua dela esango dugu, baldin eta mikroesferak espero den irteeretatik irteten badira, hots, tumoreak odolez hornitzen dituzten hodietatik irteten badira (1. irudia).

Aztertutako parametroak

Literaturan aurkitutako eztabaida-iturrii eta Nafarroako Unibertsitatea Klinikako medikuen kezkei erantzuna emateko helburuarekin egin da CFD simulazioetan oinarritutako ikerketa. Horretarako, erradioenbolizazioaren emaitzan eragina izan zezaketela ziruditen hainbat parametro hautatu ziren. 3. irudia lagungarri izan daiteke ondoren zerrendatzen diren parametroak ulertzeko, grafikoki laburbiltzen baititu aldagaiak.

- Gibelaren gaixotasun-egoera: tumoreen tamainarekin, kokapenarekin eta motarekin du zerikusia. Eragina du gibelaren odol-eskarian eta, ondorioz, mikroesferak hartzeko gaitasunean.
- Mikroesferen dentsitatea, tamaina eta kantitatea: aurretratamenduan eta tratamenduan erabiltzen diren mikroesferak ezberdinak dira.
- Mikroesferen injekzio-abiadura: zaila da aurretratamenduan zehaztutako parametro hau tratamenduan erreproduzitzea; esan bezala, medikuak eskuz xiringatzen baititu partikulak.
- Kateterraren muturra odol-hodiaren adarkaduratik gertu dagoen edo ez.

- Muturraren luzetarako posizioa: zaila da, hemen ere, aurretratamenduan zehaztutakoa tratamenduan errepikatzea.
- Muturraren posizio erradiala: beste horrenbeste.
- Kateterraren norabide distala: gauza bera.
- Kateter-mota: gaur egun, diseinuaren inguruko ikerketa ugari dago martxan. Artikulu honek hizpide duen ikerketan, kateter estandarra eta errefluxua ekiditen duen kateterra aztertu dira (ikus 3. irudiko "Kateter-mota").

Esan beharrik ez dago parametroren bat aldatuz gero, mikroesferen banaketa eta haien jomuga ere aldatu egiten dela. Gainera, arterian kateterra jartzek odol-fluxuaren ezaugarri hemodinamikoak (presioa eta abiadura) aldatzea dakar; oztopo fisikoa denez, berezko fluxua baldintzatzen du. Ondorioz, mikroesferen ibilbidea eta banaketa aldatu egiten dira. Horregatik, oso garrantzitsua da kateterraren muturretik gertu dagoen odol-fluxuaren ezaugarriak aurretiaz ondo ezagutzeari.

Tesian, zerrendako zortzi parametroetako bakoitzaren eragina aztertu bada ere, hemen, kateterraren kokapenaren ingurukoa azalduko da; aldagairik garrantzitsuena, ziurrenik.

Kateterraren kokapenaren garrantzia

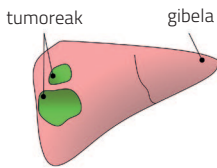
Ebakia egin eta kateterra sartzerakoan, bi aukera nagusi daude: kateterraren muturra arteriako adarkaduraren batetik gertu geratzea edo urrun geratzea (ikus 3. irudiko "muturra adarkaduratik gertu edo ez"). Kateterraren kokapenarekin zerikusia duten gainerako parametroak hauek dira: muturraren luzetarako posizioa, muturraren posizio erradiala, kateterraren norabide distala eta kateter-mota (ikus 3. irudia).

Injekzioa adarkaduratik urrun egiten bada, mikroesferen banaketak odol-fluxuarenaren itxura hartzen

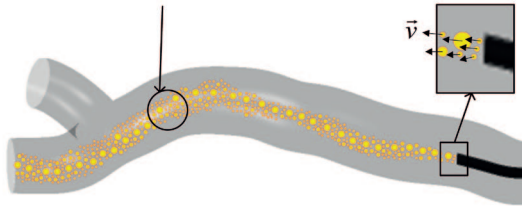
du; mikroesferak odol-fluxuarekin lerrotatzen dira. Kasu horretan, gainerako parametroen aldaketek ez dute eraginik mikroesferen banaketan. Partikulak adarkaduratik gertu xiringatuz gero, ordea, parametroen aldaketek mikroesferen banaketa baldintzatzen dute.

4. irudiak argi erakusten du 5 mm eskaseko diferentziak (inurri baten luzera) berebiziko eragina duela partikulen banaketan. Gertu xiringatuta (goiko kasua) lortzen da erradioenbolizazio arrakastatsua; hots, mikroesferak bi tumoreetara bideratzea (bi tumoreak irradiatzea). Urrun xiringatuta, ordea, ez. Izan

Gibelaren gaixotasun-egoera



Mikroesferen dentsitatea, tamaina eta kantitatea



Injekzio-abiadura

Muturra adarkatzetik gertu ala ez

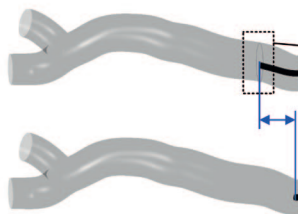
adarkatzetik urruti



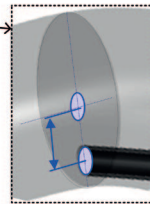
adarkatzetik gertu



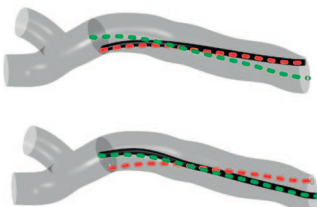
Muturraren luzetarako posizioa



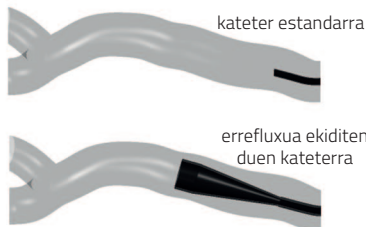
Muturraren posizio erradiala



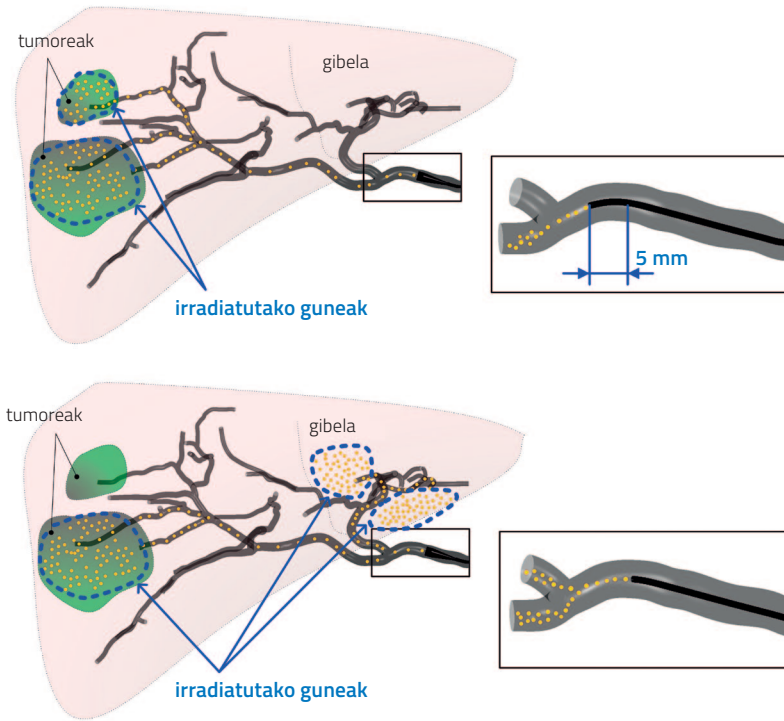
Kateterraren norabide distala



Kateter-mota



3. irudia. Ikertutako parametroen laburpen grafikoa.



4. irudia. Kateterraren muturraren kokapena eta haren eragina. Goiko kasuan, erradioembolizazio arrakastatsua: tumoreak bonbardatu dira; tumoreak bakarrik. Beheko kasuan, porrota: kateterraren muturra 5 mm desplazatu da (goiko kasuarekin alderatuz); ondorioz, tumoreetako bat ez da bonbardatu, eta, gainera, gibeiko ehun osasuntsuak irradiatu dira.

ere, bigarren kasuan, tumoreetako bat ez da irradiatu eta, gainera, gibel osasuntsua bonbardatu da.

Azken hausnarketak

Prometeoren garaitik edo lehenagotik argi dagoena zera da, osasuna dela gizakion ardura nagusia.

Gainera, Sznitman eta Steinman ingeniariak aurrekusi dute CFDarekin eginiko ikerketak garrantzitsuak izango direla datoen urteotan [3]. Tratamendu berriak sortzeko edota daudenak hobetzeko balioko dute; minbizia duten gaixoak sendatzeko, alajaina!

Asko dago egiteko, baina urratsez urrats joatea komeni da; "azkar eta ondo, usoak hegan". ●

Erreferentziak

1. Torre, L.A., Bray, F., Siegel, R.L., et al. (2015) Global cancer statistics, 2012. *CA. Cancer J. Clin.*, 65 (2), 87–108.
2. Salem, R., and Thurston, K.G. (2006) Radioembolization with 90Yttrium microspheres: a state-of-the-art brachytherapy treatment for primary and secondary liver malignancies. Part 1: Technical and methodologic considerations. *J. Vasc. Interv. Radiol.*, 17 (8), 1251–78.
3. Sznitman, J., and Steinman, D.A. (2016) Relevance and challenges of computational fluid dynamics in the biomedical sciences. *J. Biomech.*, 49 (11), 2101.

CAF-Elhuyar sarietara aurkeztutako lana.