

ТОШКЕНТ ПЕДИАТРИЯ ТИББИЁТ ИНСТИТУТИ

**ТИББИЙ ВА БИОЛОГИК ФИЗИКА, ИНФОРМАТИКА ВА
ИНФОРМАЦИОН ТЕХНАЛОГИЯЛАР КАФЕДРАСИ**

ДОЦЕНТ: Ю. Н. ИСЛОМОВ

04.12.1006 йил III -поток

**ТЕМА: ГЕМОДИНАМИКАНИНГ ФИЗИК МАСАЛАЛАРИ
СУЮҚЛИКЛАРНИНГ НАЙЛАРДА ОҚИШИ**

Очиқ маъруза

**ТОШКЕНТ 2006й.
АННОТАЦИЯ**

Биомеханиканинг томирлар системасидаги қоннинг ҳаракатини ва унинг механик хоссаларини ўрганувчи бўлимга гемодинамика деб аталади. Бу маърузада қон айланишнинг механик ва электрик моделлари устида тўхталлади. Бу моделлар ёрдамида қоннинг зарб ҳажми билан қон айланиш системасини марказидан узоқда жойлашган қисмларнинг гидравлик қаршилиги ва артериялардаги қон босимининг ўзгариши орасидаги боғланишни аниқланади. Ундан ташқари қон оқимини тезлигини аниқлашни ультратовуш ва электромагнит усуллари ўрганилади. Пульс тўлқини ва унинг томирларда тарқалиш усуллари, сунъий қон айланиш аппарати ҳамда клиникада қон босимини ўлчашнинг физик асослари тўғрисида маълумотлар берилади

МАЪРУЗА РЕЖАСИ

1. Қон айланишнинг механик ва электрик моделлари
2. Пульс тўлқини ва уни томирларда тарқалиши
3. Юракни иши ва кувати. Сунъий қон айланиш аппарати
4. Клиникада қон босимини ўлчашнинг физик асослари
5. Қон оқимитезлигини аниқлаш усуллари

МАЪРУЗАНИ ҚИСҚАЧА МАЗМУНИ

Биомеханиканинг томирлар системасидаги қон ҳаракатини ўрганувчи бўлимига гемодинамика дейилади. Гемодинамиканинг физик асоси гидродинамикадир. Қоннинг ҳаракати қонга ҳам қон ташувчи томирларнинг ҳоссаларига ҳам боғлиқ.

Қон айланишни механик ва электрик моделлари

О. Франк таклиф этган қон юрадиган томирлар системасининг гидродинамик моделини кўриб ўтамыз. Бу модель етарли оддий бўлишига қарамасдан, қоннинг зарб ҳажми (битта систола давоми) билан, қон айланиш системаси марказидан ўзоқда жойлашган қисмларининг X_0 гидравлик қаршилиги ва артериялардаги босимнинг ўзгаришлари орасидаги Боғланишни амалга оширишга имкон беради. Қон айланиш системаси артериал қисми эластик резервуар каби моделлаштирилади (11.1- расм, ЭР билан белгиланган).

Қон эластик резервуарда бўлгани сабабли унинг ихтиёрий пайтидаги ҳажми p босимга қуйидаги муносабат орқали боғланган:

$$V = V_0 + R p, \quad (1)$$

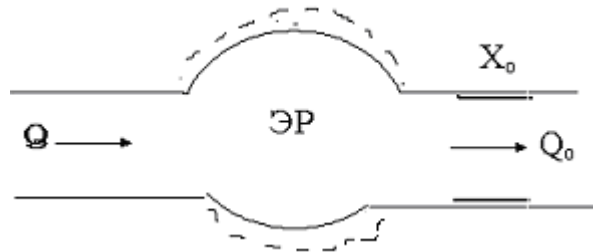
Бу ерда R - резервуарнинг эластиклиги (ҳажми билан босим орасидаги пропорционаллик коэффиценти); V_0 - резервуарнинг босим бўлмагандаги ($p=0$) ҳажми. (1)ни дифференциаллаб, қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$\frac{dV}{dt} = R \frac{dp}{dt}. \quad (2)$$

Қон юракдаги эластик резервуарга (артерияга) киради, қон оқишининг ҳажмий тезлиги Q гп тенг. Қон эластик резервуардан, четки қисмларга (артериолалар, капиллярларга) Q_0 ҳажмий тезлик билан оқиб чиқади. Фараз қилайлик, четки системаларнинг гидравлик қаршилиги ўзгармас

бўлсин. Бу эластик резервуарнинг чиқиш қисмига маҳкамланган «Қаттиқ» найча қўйиш орқали моделлаштирилади (1- расм).

Юракдан оқиб чиқаётган қоннинг ҳажмий тезлиги эластик резервуар ҳажмининг ортиши тезлигига ва эластик резервуардан оқиб чиқаётган қоннинг тезлигига тенглигини кўрсатувчи етарлича аниқликка эга бўлган тенгламани тўзиш мумкин (1- расм).



(11.3)

(9.8) Пуазейл тенгламаси ва (9.9) формулага асосан қон айланиш системасининг четки қисмлари учун қуйидаги формулани ёзиш мумкин:

$$Q_0 = \frac{P - P_B}{X_0} \quad (11.4)$$

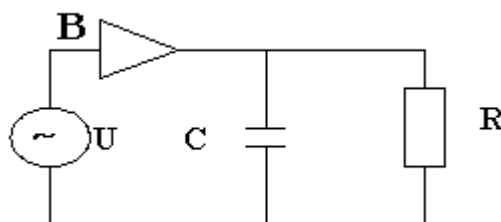
бу ерда p - эластик резервуардаги босим; p_B - венага оид босим уни нолга тенг деб олиш мумкин, уҳолда (11.4) ўрнига қуйидагига эга бўламиз:

$$Q_0 = \frac{P}{X_0} \quad (11.5)$$

систола (юракнинг қисқариш) пайтида эластик резервуарнинг кенгайиши систоладан сўнгги диастола пайтида эса қоннинг чека қисмларга оқиб чиқиши юз беради, $Q = 0$.

$Q_c = P / X_0$ - систола охирида (диастол бошида) эластик резервуардан оқиб чиқаётган қон ҳаракатининг ҳажмий тезлиги.

Механик модель асосида ўнга ухшаш бўлган қон айланиш системасининг электрик моделини қўйиш мумкин.



(2- расм)

Бу ерда синусоида бўлмаган электр кучланишни берувчи U манба, юракка ухшаш, туғрилагич B - юрак клапини вазифасини бажаради. Қондентатор C ярим даврга тенг бўлган вақт давомида зарядни тўплаб, сўнг резистор R орқали зарядсизланади ва шундан резистор орқали оқиб ўтаётган ток кучи силликланади. Қондентаторнинг иш фаолияти эластик резервуар (аорталар, артериялар) никига ухшаша бўлиб, артериолларда ва капилларларда қон босими ўзгариб турушларини силликлаш вазифасини бажаради. Резистор эса четки қон томирлари системасининг электрик аналогияси ҳисобланади.

Томирлар йўли фазода тақсимланган система ҳисобланади деган вақтни ҳисобга олиш учун қон томирлари йўлининг янада аниқроқ модели укп микдордаги эластик резервуарлардан фойдаланилган. Қоннинг инерциал хоссаларини ҳисобга олиш учун модель кўришда аортанинг юқорига йўналган ва пастга йўналган тармоқларини моделловчи эластик резервуарлар турлича эластикликка эга бўлади деб тахмин қилинади. Эластиклиги турлича бўлган иккита резервуардан ва резервуарлардан иборат Ростон модели 11.4- расмда тасвирланган.

Икки камерали модель томирларда юз берадиган жараёнларда оқимни яхшироқ тавсифлар беради. Лекин у диастолалар бошидаги босим ўзгаришларини (тебранишларини) тушунтирмайди.

Бир неча юзлаб элементлардан Ташқил топган моддалар параметрлари билан тақсимланган моделлар дейилади.

Пульс тўлқини ва уни томирларда тарқалиши

Юрак мускулларининг қисқаришида (систола) қон юракдан аортага ва ундан тарқалиб кетувчи артерияларга сиқиб чиқарила бошлайди. Агар бу томирлар деворлари қаттиқ бўлганда эди, қоннинг юракдан чиқиши пайтида вужудга келган босим товуш тезлигида чеккадаги қисмларга ўзатилаган бўлар эди. Қон томирларининг эластиклиги шўнга олиб келадики. Систола пайтида юрак итариб чиқараётган қон аорта, артерия ва артериолаларни чўзади, бунда Катта қон томирлари систола пайтида марказдан четдаги қисмларга оқиб борадиган қонга нисбатан кўпқонни қабул қилади. Одамнинг систолик босими нормада тахминан 16 кПа га тенг. Юракнинг бушашиши (диастол) пайтида чўзилган қон томирлари пасаяди (бушашади) ва юракнинг қон орқали уларга ўзатган потенциал энергияси қоннинг оқишидаги кинетик энергиясига айланиб, диастолик босимнинг тақрибан 11 кПа атрофида тутиб турилишига мадад беради. Систола юз бериши даврида қоннинг чап қоринчадан итариб чиқарилиши туфайли юзага келган ва аорта ҳамда артериялар орқали тарқалувчи юқори босимли тўлқинга пульсли тўлқин дейилади.

Пульс тўлқини 5-10 м/с ва ундан ортиқроқ тезлик билан тарқалади. Демак систола даврида (0,3 с атрофида у 1,5 – 3 м) масофага тарқалиши лозим, бу масофа эса браддан укл ва оёқларгача бўлган масофадан

ортирокдир. Бу шуни билдирадики, пульс тўлкини fronti қўл ва оёқларнинг охирги нуқталарига аорта босининг пасайишидан олдин етиб боради. Артериянинг ён томонидан схематик куриниши 11.6 – расмда кўрсатилган: а - пульс тўлкини ўтгандан сўнг, б – артерия орқали пульс тўлкинининг ўтиш пайти, в- артерияда пульс тўлкини мавжудлиги, г- кўтарилган босимнинг пасая бошлаши.

Катта артериялардаги пульс тўлкинига қон оқинининг пульсацияланган тезлиги мос келади, аммо қоннинг тезлиги (энг Катта киймати 0,3 – 0,5 м/с) пульс тўлкини тарқалиш тезлигидан айтарли даражада кичикдир.

Юрак иши тўғрисидаги умумий тушунчалардан ва моделларда утказилган тажрибадан синусоидал (гармоник) булла олмайди. Пульс тўлкини ҳар қандай даврий жараён каби гармоник тўлқинларнинг йиғиндиси каби кўрсатилиши мумкин.

Қоннинг қовушқоқлиги ва қон томирининг эластиклик ва ёпишқоқлик хоссаси тўлқин амплитудасини камайтиради. Яъни суниш экспоненциал куринишида бўлади деб ҳисоблаш мумкин.

Пульсли тўлқин узунлигини қуйидаги формула ёрдамида топиш мумкин:

$$\lambda = \frac{v}{\omega} = \frac{2\pi v}{\omega} \quad (2) \quad (11.13)$$

Босим тўлқини бирор ортиқча босимни ифодамайди. Шу сабабли «асосий» босим p_a ни ҳисобга олганҳолда (P_a - атмосфера босими ёки қон томирларини ўраб олган атроф муҳитдаги босим) босимнинг ўзгаришини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$p = p_a + p_{0e} \cdot x^x \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (11.14)$$

(11.14) дан кўриниб турибдики, қон силжигани сари (Х ортиб боргани сари) босимнинг тебраниши текисланиб боради. Босимнинг юрак яқинидаги аортада (а) ва артериолаларда (б) тебраниши 11.7 расмда схематик кўринишда берилган.

Босимнинг ўртача кийматининг ва қон оқими тезлиги $v_{\text{қон}}$ нинг қон ҳаракатланувчи томирлар турига боғлиқ ҳолда ўзгаришини кўрсатувчи графиклар 11.8 - расмда берилган. Қоннинг гидростатик босими ҳисобга олинмайди. Босим - атмосфера босимидан ортиқча. Штрихланган соҳа босим тебранишига мос келади (пульс тўлкини).

Катта томирларда пульс тўлкинининг тезлиги томирлар параметрларига қуйидаги кўринишда боғлиқ (Моснер - Кертеве́рг формуласи):

$$p = p_a + p_{0e} \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad v = \sqrt{\frac{E \cdot h}{\rho \cdot d}} \quad (15)$$

бу ерда E - эластик модули; p - қон томири моддасининг зиялиги; h – қон томири деворининг калинлиги; d - қон томири диаметри.
(11.15) тенгламани ингичка стержендаги товушнинг тарқалиши билан таккослаш кизикарлидир:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (11.16)$$

Одам ёш улгайиши билан қон томирларининг эластиклик модули ҳам ортиб боради, шу сабабли (11.16)дан кўриниб турибдики, эластиклик модули ортса, пульс тўлқинининг тезлиги ҳам катта бўлади.

Юракнинг иши ва қуввати. Сунъий қон айланиш аппарати (СКАА)

Юрак бажарадиган иш босим кучларини енгитиш ва қонга кинетик энергия бериш учун сарфланди.

Чап қоринчанинг бир марта қисқаришида бажариладиган ишни ҳисоблайлик. Қоннинг зарб ҳажми V_3 ни цилиндри қуринишида ифода қиламиз. (9- расм) Юрак бу ҳажми қўндаланг кесими юзи S бўлган аорта бўйлаб ўртача p босим остида L масофага сиқиб чиқаради деб ҳисоблаш мумкин. Бунда бажарилган иш



9- расм

$$A_1 = F \cdot \ell = p \cdot S \cdot \ell = p \cdot V_3$$

Бу ҳажмдаги қонга кинетик энергия бериш учун

$$A_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho \cdot V_3 \cdot v^2}{2} \quad \rho - \text{қон зичлиги}$$

v - қон аортадаги тезлиги

Иш бажарилган, бу ерда p - қоннинг зичлиги; v - қоннинг аортадаги тезлиги. Шундай қилиб, чап қоринчанинг бир марта қисқаришида бажарилган иш.

$$A_2 = A_1 + A_2 = pV_3 + \frac{\rho \cdot V_3 \cdot v^2}{2}$$

Ўнг қоринчанинг бажарган иши «чап қоринча» бажарган ишнинг 0,2 қисмига тенг деб қабул қилиниши туфайли, юракнинг бир марта қисқаришида бажарган тула иши

$$A = A_2 + 0,2 A_{jнн} = 1,2(3 \cdot V_3 \cdot \rho \cdot V_3 \cdot v^2 / 2) \quad (7)$$

(7) га катталикларни қўйиб, тинч ҳолатда $P = 13 \text{ кПа}$, $V_3 = 60 \text{ мл}$
 $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $v = 0,5 \text{ м/с}$. юрак бажарган ишни
 топамиз $A = 1 \text{ Ж}$

$$W = A/t = 3,3 \text{ Вт}$$

(7) формула организмнинг ҳам тинчликдаги, ҳам актив ҳолатлари учун ўз кучини саклайдим. Бу ҳолатлар қон ҳаракати тезлигининг турлича кийматлари билангина фарқ қилади.

(7) формулага $p = 13 \text{ кПа}$, $V_3 = 60 \text{ мл} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $v = 0,5 \text{ м/с}$ катталикларни қўйиб, тинч ҳолатда юракнинг бир марта қисқаришида бажарган ишни топамиз: $A \approx 1 \text{ ж}$.

Юрак 1 с да ўртача бир марта қисқаради деб ҳисоблаб, бир сутка давомида юракнинг иши бир неча марта ортиши мумкин.

Агар ситола давомийлиги $t \approx 0,3 \text{ с}$ экани ҳисобга олинса, юракнинг бир марта қисқаришидаги қуввати $\langle W \rangle = A_1 / t = 3,3 \text{ Вт}$.

Юракда операция қилиш давомида уни вақтинча қон айланиш системасидан ажратиш туғри келади, бунда махсус сунъий қон айланиш аппаратида фойдаланилади. Мазмунан бу аппарат сунъий юрак (насос системаси) билан сунъий упка (оксигенератор - қони кислород билан бойитилишини таъминловчи система) бирикмасидан иборат.

Клиникада қон босимини ўлчашнинг физик асослари

Физик параметр -қон босими - жуда кўп кассалликлар диагностикасида катта роль уйнайди.

Артерияларнинг бирортасидаги систолик ва диастолик босимлар туғридан-туғри манометрга уланган игна ёрдамида ўлчаниши мумкин. Лекин тиббиётда Н.С. Коротков таклиф этган қонсиз усулдан кенг миқёсда фойдаланилади. Бу усулнинг физик асосларини елка артериясидаги қон босимини ўлчаш мисолида курайлик.

Елка билан тирсак орасига манжета уралади. Кулга уралган манжетанинг М, кулнинг бир қисми Р, елка суяги П ва елка артерияси А нинг кесимлари курстаилган. В шланг оркали манжетага ҳаво юборилганда манжета кулни сикади. Сўнгра шу шланг оркали ҳаво секин – аста сикарила бошлайди ва Б манометр ёрдамида манжетааги босим ўлчанади. Шу қисмларнинг ўзидаги позицияда ҳар бир ҳолатга мос келувчи елка артериясининг буйлама кесимлари курсатилган. Бошида атмосфера босимига нисбатан манжетадаги ҳавонинг босими нолга тенг (11-расм), манжета кулни ва артерияни сикмайди. Манжетага маълум бир улсовда ҳаво дамлангани сари манжета елка артериясини сика бошлайди ва қоннинг оқиши тухтайди. (12-расм).

Агар мускуллар бушаштирилган бўлса эластик деворлардан иборат бўлган манжета ичидаги босим тахминан манжетага тегиб юмшоқ тўқималардаги босимга тенг бўлади. Босимни қонсиз усулда ўлчашнинг асосий физик ғояси мана шундан иборатдир.

Ҳавони аста –секин чиқариб, манжетадаги ва ўнга тегиб турган юмшоқ тўқималардаги босим камайтириб борилади. Қачонки босим систолик босимга тенг бўлса қон қаттиқ сикилган артерия оркали отилиб чиқиш имкониятига эга бўлади, бунда турбулент оқим юзага келади. (13-расм).

Врач босимни ўлчашда фонендоскопни артерия устига манжетадан четрокка (яни юракдан анча ўзрок жойга) қўйиб, турбулент оқимга тааллуқли бўлган ва у билан биргаликда юзага келган тон ва шовкинларни эшитиб куради. Манжетадаги босимни камайтира бориб, ламинар оқимни тиклаш мумкин, буни эшитиб кўриладиган тонларнинг бирданига пасайиб кетишидан билиш мумкин. Артерияда ламинар оқимнинг тикланишига мос келувчи манжетадаги босим диастолик босим каби қайд этилади. Артериал босимни ўлчаш 14-расмда кўрсатилган асбоблардан фойдаланилади: а- симобли манометри бўлган сфигмоманометр, б- металл мембранали манометри бўлган сфигмоманометр; бу ерда М – манжета, Г- манжетага ҳавони ҳайдовчи резина нок, Р- манометр.

Қон оқими тезлигини аниқлаш усуллари

Қон оқими тезлигини аниқлашнинг бир неча усули мавжуд бўлиб, шулардан икки турининг физик асосларини уқриб ўтайлик.

Ультратовуш усули (ультратовушли расходометрия). Бу усул Доплер эффектига асосланган. Ультратовуш (УТ) частотали электр тебранишлари сигнали 1 генератордан (15-расм), Утнинг 2 нурлаткичига частотани тенглаштирувчи 3 қурилмага узатилади. 4 УТ тўлқини 5 қон томирларига ўтади ва ҳаракатланувчи 6 эритроцитлардан қайтади. Қайтган 7 УТ тўлқини 8 приёмникка узатилади. Бунда у электр тебранишларига айлантирилади ва кучайтирилади. Кучайтирилган электр тебранишлари 3 қурилмага тушади. Бу ерда тушувчи ва қайтган тўлқинлар, тебранишлари мос ҳолда тенглаштирилади ва доплернинг частоталар бўйича силжиши электр тебранишлари қурилишида ажралиб чиқади:

$$\partial_D = \frac{2 \cdot v_o}{v} \partial \Gamma \quad (4)$$



(15- расм).

(7.62) формулдан эритроцитларнинг тезлигини аниқлаш мумкин:

$$v_o = \frac{v}{2} \cdot \frac{\partial D}{\partial \Gamma} \quad (15)$$

Катта қон томирларида эритроцитларнинг тезлиги уларнинг уққа нисбатан жойлашишларига қараб турлича бўлади: «уқ яқинидаги» эритроцитлар катта тезлик билан «девор яқинидаги» лари эса кичик тезлик билан ҳаркатланади. УТ тўлқинлари турли ҳил эритроцитлардан қайтиши мумкин, шу сабабли доплернинг силжиши битта частота курунишида бўлмай, бирор частоталар оралиғида бўлади. Шундай қилиб, Доплер эффекти қон оқимининг фақат ўртача тезлигини эмас, балки қоннинг турли ҳил қатламлари тезлигини ҳам аниқлашга имкон беради.

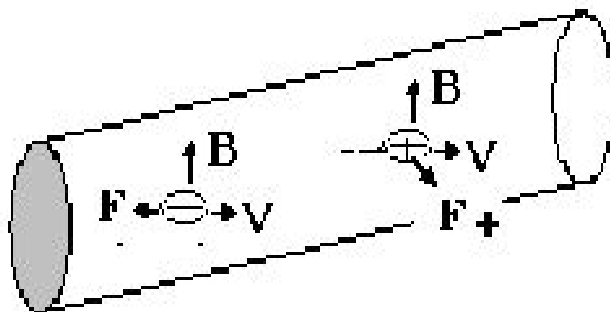
Электромагнит усул (электромагнит расходомерия). Қон оқиши тезлигини аниқлашнинг бу усули ҳаркатланувчи заррачаларнинг магнит майдонида оқишига асосланган. Масала шундан иборатки, қон электр жихатидан нейтрал система булсада, мусбат ва манфий ионлардан Ташқил топган. Шундай экан, ҳаракатланаётган қон зарядили заррачалар оқими бўлиб, $v_{\text{қон}}$ тезлик билан ҳаракатланади. Ҳаракатланаётган q электр зарядига индукцияси B бўлган магнит майдонида.

$$\mathbf{F} = q \mathbf{v}_{\text{қон}} \mathbf{B} \quad (19)$$

куч таъсир қилади. Агар заряд манфий бўлса уҳолда куч векторлар кўпайтмаси $V_{\text{қон}} \times B$ га тескари йўналган.

Магнит майдони томонидан турли хил мшорали зарядга таъсир этувчи кучлар

16-расмда курсатилганидек карама-карши йўналган. Қон томири деворининг бир томони яқинида ортиқча мусбат заряд, иккинчи томони яқинида эса манфий зарядлар кўпроқ тупланади. Зарядларнинг томир кўндаланг кесими бўйлаб бундай таксимланишни электр майдонини юзага келтиради. Бундай физик ходиса Холл эффекти деб аталади.



16- расм

U_x кучланиш (холл кучланиши) ионлар ҳаракатининг v тезлигига, яъни қоннинг тезлигига боғлиқ. Шундай қилиб, U_x кучланишин ўлчаш билан қоннинг тезлигини ҳам аниқлаш мумкин экан. Қон томири кўндаланг кесими S ни билган ҳолда, қон оқиши ҳажмий тезлиги (m^3 / c) ҳисоблаш мумкин:

$$Q = v_{кон} \cdot S$$

(20)

Ушбу усулда ўзгарувчан магнит майдонини қуллаш Амалий жихатдан қулайдир. Бу ўзгарувчан холл кучланиши U_x ни юзага келтиради, сўнгра у кучайтирилади ва ўлчанади.

АДАБИЁТЛАР

1. А.Н. Ремизов Тиббий ва биологик физика 1992 й.. 11. боб
2. Ю.А. Владимиров ва бошқалар Биофизика 1983й
3. З.П. Беликова, Р.С Павлова Медицина биофизикасидан укув қуланмаси 1976й .