

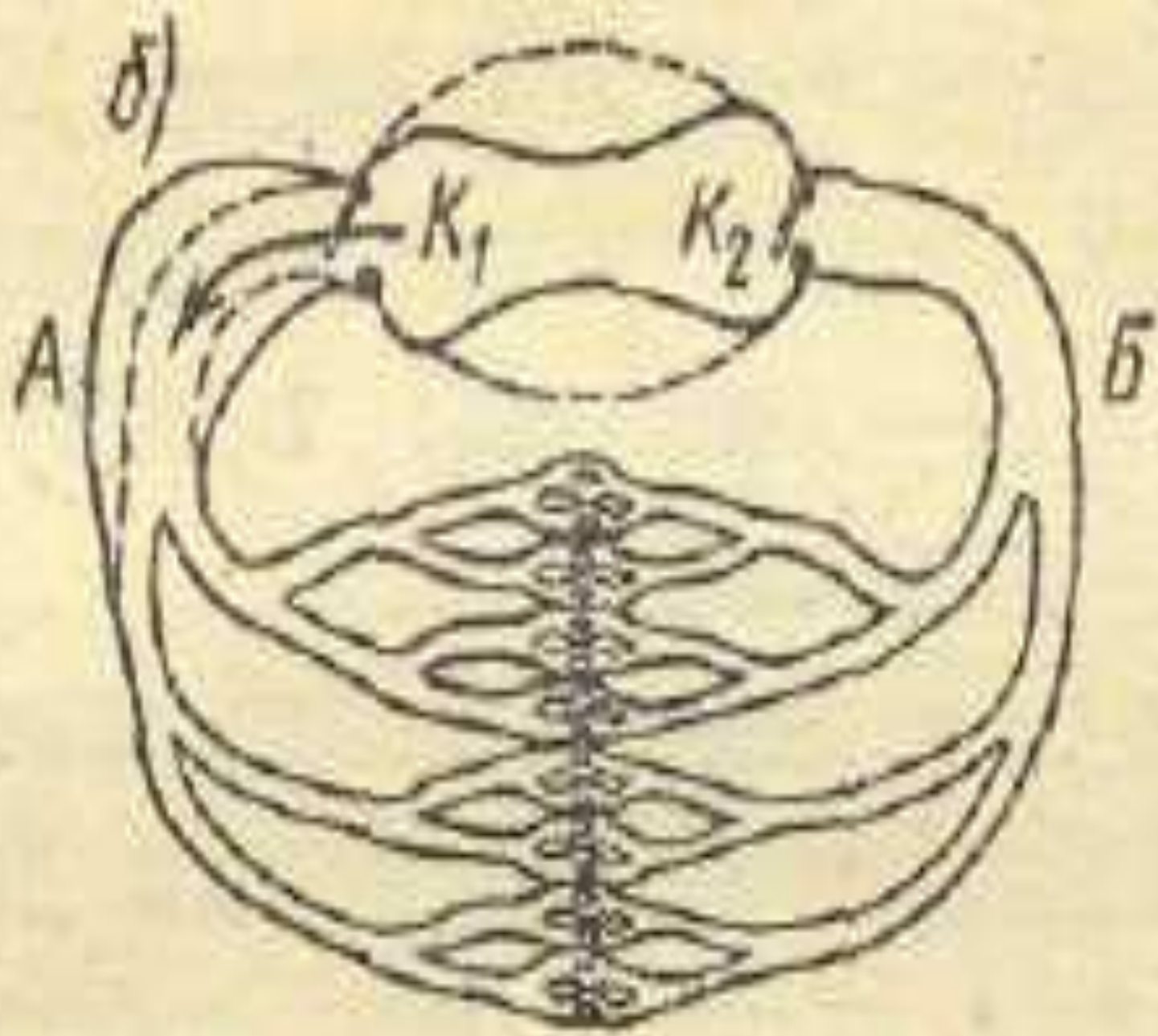
№12 дәріс.

*Қанның реологиялық
қасиеттері*

Жоспары:

1. Үлкен қан тамырларындағы қанның қозғалысы.
2. Кіші қан тамырларындағы қан ағынын ұйымдастыру.
3. Капиллярлардағы қанның пішіндік элементтерінің қозғалысы.
4. Қанның реологиялық қасиеттерін анықтайтын факторлар.

Қан тамырлар жүйесі *тұйықталған*
тамырлар *жүйесінде* қан айналымды
қамтамасыз етеді. Ағзадағы қанның
тұрақты *циркуляциясы* барлық
жасушаларға қажетті заттың
жеткізілуіне ықпал етеді.





Реология — заттың аққыштығы және деформациясы туралы ғылым. (гемореологиясы).

Қанның биофизикалық ерекшеліктерін оқып үйренуде, қан реологиясында қан тұтқыр сұйықтық болып табылады.

Сұйықтың (*ішкі үйкеліс*) тұтқырлығы

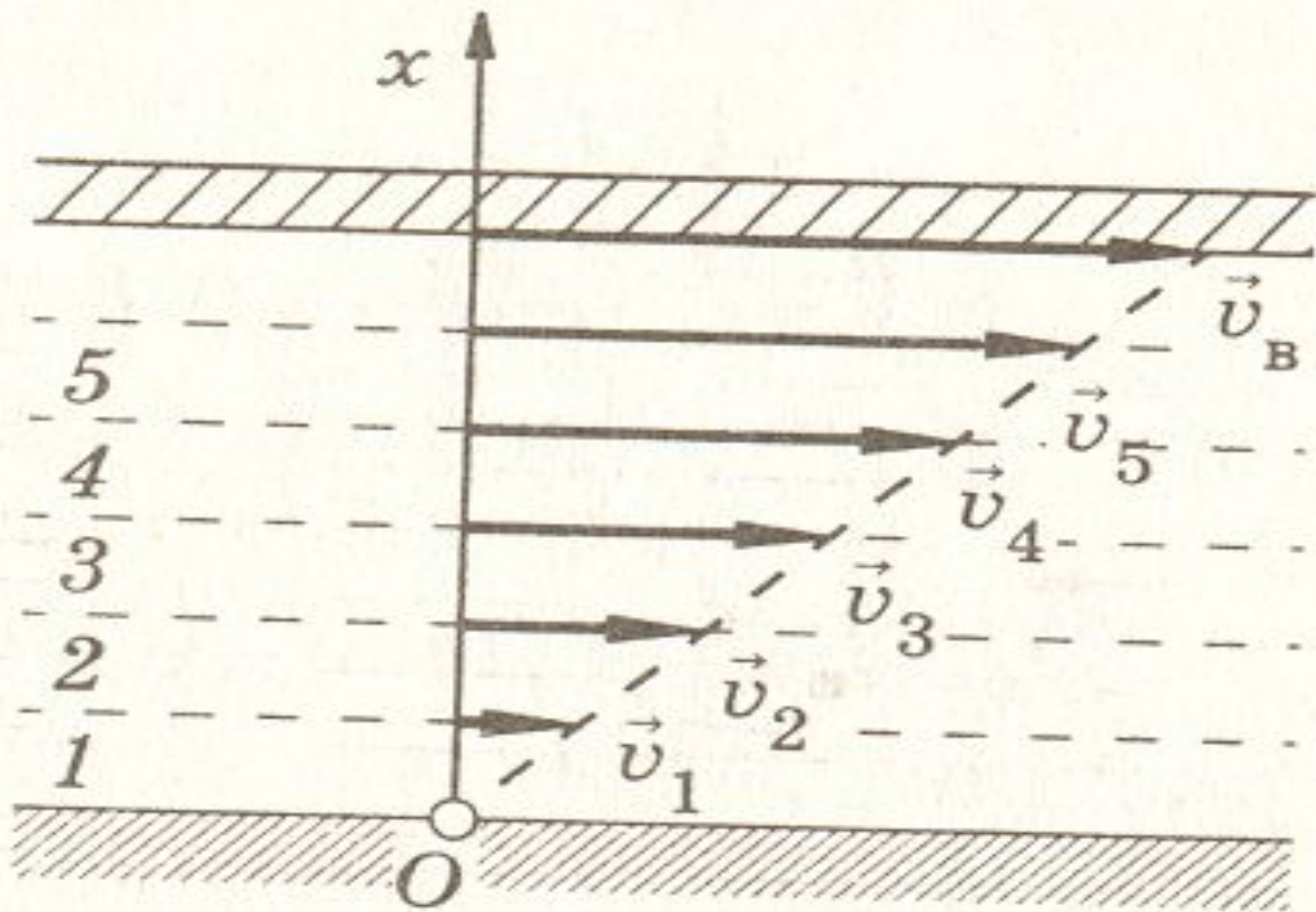
Сұйықтың бір қабаты екінші қабатына қатысты орын ауыстырса, оларда *ішкі үйкеліс күші* пайда болады. Сұйықтар ағысында оның жеке қабаттары бір-бірімен әсерлеседі.

Бұл құбылысты сұйықтың *ішкі үйкелісі* немесе *тұтқырлығы* деп атайды

И. Ньютон заңы (1687 ж.)

$$F = \eta \frac{dV}{dZ} S$$

Ішкі үйкеліс күші тез ағатын қабатты тежейді және жай ағатын қабатты үдетеді.



- Сұйықтар тұтқырлық қасиетіне қарай 2-ге бөлінеді: *ньютондық және ньютондық емес*
- Тұтқырлық коэффициенті сұйықтың табиғаты және температурасына тәуелді **сұйықтарды ньютондық сұйықтар деп атаймыз.**
- Тұтқырлық коэффициенті жылдамдық градиентіне және сұйықтың ағысына тәуелді сұйықтарды *ньютондық емес* **деп атаймыз.**

•Қан - *ньютондық емес* сұйықтық. Ол плазма ерітіндісінен және онда жүзіп жүретін пішіндік элементтерден тұрады.

•Плазма – *ньютондық* сұйықтық. Алайда пішіндік элементтердің *93% -ін* эритроциттер құрайды. Қан – физиологиялық ерітінділерде эритроциттер суспенциясы болып табылады.

•Эритроциттердің негізгі сипаттамалық қасиеті- агрегаттардың түзілуі.

- Қанның мазогын микроскоппен қарағанда, ондағы эритроциттердің бір бірімен «жабысып» монетті столбиктер деп аталатын агрегаттар түзейді.
- Ірі және ұсақ тамырлардағы агрегаттардың түзілуі әртүрлі.
- Бұл тамырдың, агрегаттың және эритроциттердің өлшемдеріне байланысты (өлшемдері: $d_{эр} = 8 \text{ мкм}$, $d_{агр} = 10 d_{эр}$).

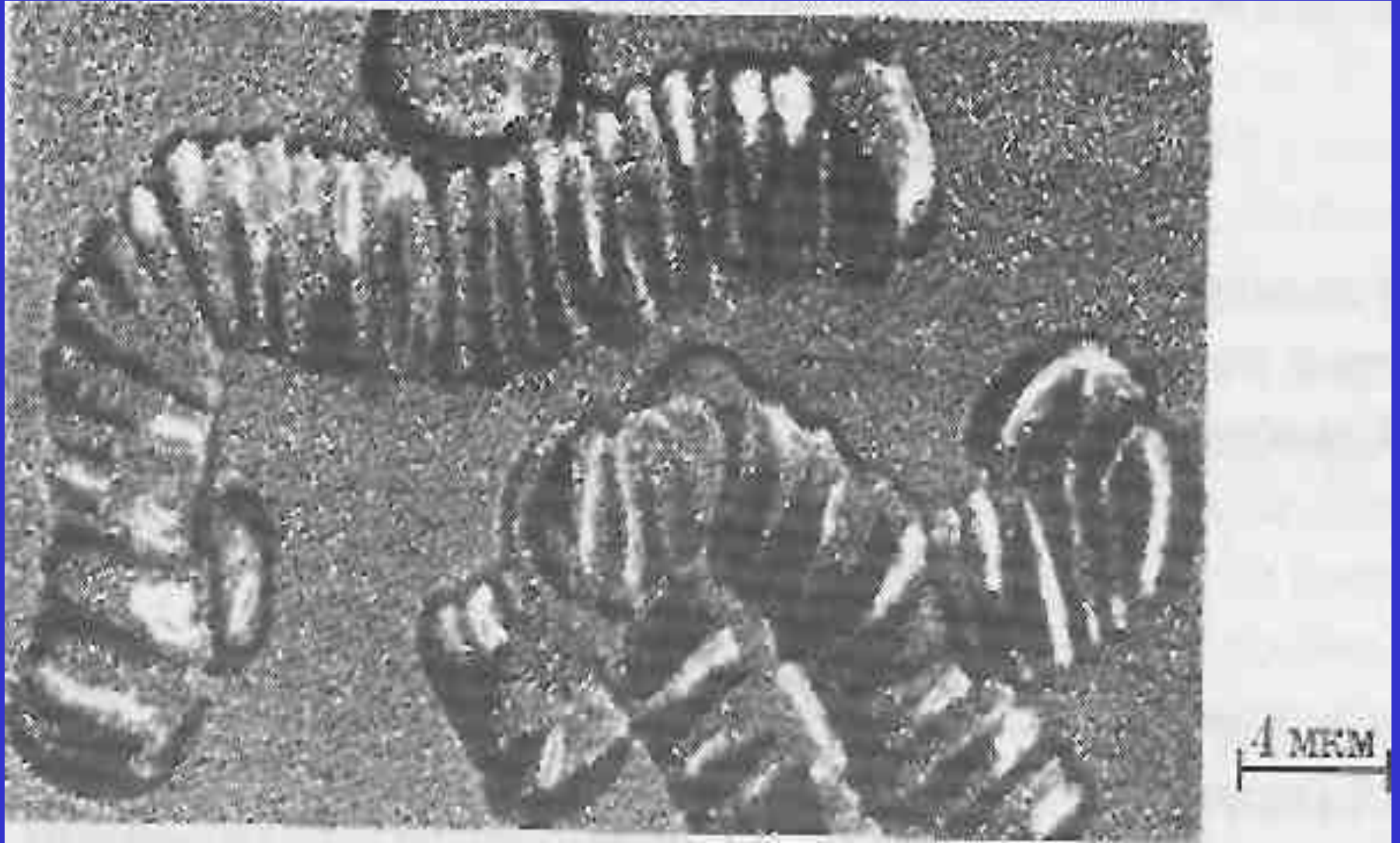
1. Ірі қан тамырларда (аорта, артерияда):

$$d_{\text{тамыр}} > d_{\text{агр}}, \quad d_{\text{тамыр}} \gg d_{\text{эритро}}.$$

dV/dZ градиенті үлкен емес, эритроциттер агрегаттық күйге монетті столбиктер түрінде жинақталады. Мұндай жағдайда қанның тұтқырлығы

$$\eta = 0,005 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

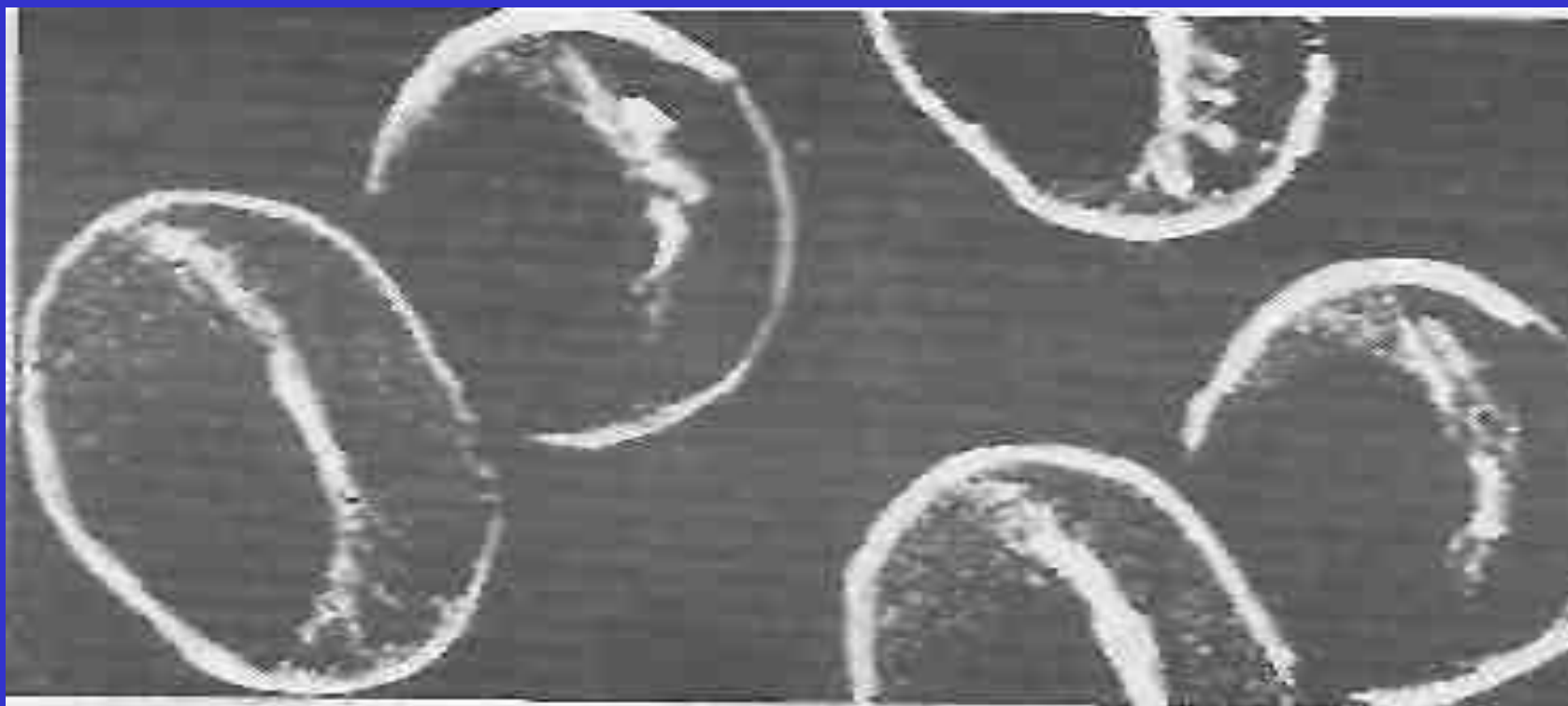
а) ірі қан тамырларындағы *эритроциттер агрегаты*
(«монеттістолбиктер»)



2. Ұсақ тамырлар (кіші артерия, артериолалар):

$$d_{\text{сос}} \approx d_{\text{агр}} \quad d_{\text{сос}} = (5 - 20)d_{\text{эритро}}$$

dV/dZ градиенті артқанда жүйенің тұтқырлығы азая отырып, агрегаттар жеке эритроциттерге ыдырайды. Тамыр түтігі саңылауының диаметрі кішірейген сайын, қан тұтқырлығы кемиді.



3 мм



б) отдельные эритроциты в
мелких артериях, артериолах.

Ұсақ артерия, артериолалардағы жеке эритроциттер

3. Микротүтіктерде (капиллярлар):

$$d_{\text{түтік}} \gg d_{\text{эритро}}.$$

- Микротүтікті тамырларда диаметрі 3 мкм эритроциттер жеңіл деформациялана отырып, капилляр арқылы өтеді алады.
- Қан тамырларындағы қанның ағысы үшін тұтқырлықтың жылдамдық градиентіне тәуелділігі *Ньютон формуласына бағынбайды* және сызықты емес болып табылады.

Ірі қан тамырларда $\eta_{қан} = (4,2 - 6) \cdot \eta_c$ үшін тұтқырлық:

$$\eta_{ан} = (2 - 3) \cdot \eta_c$$

$$\eta_{пол} = (15 - 20) \cdot \eta_c$$

$$\eta_{пл} \approx 1,2 \cdot \eta_c$$

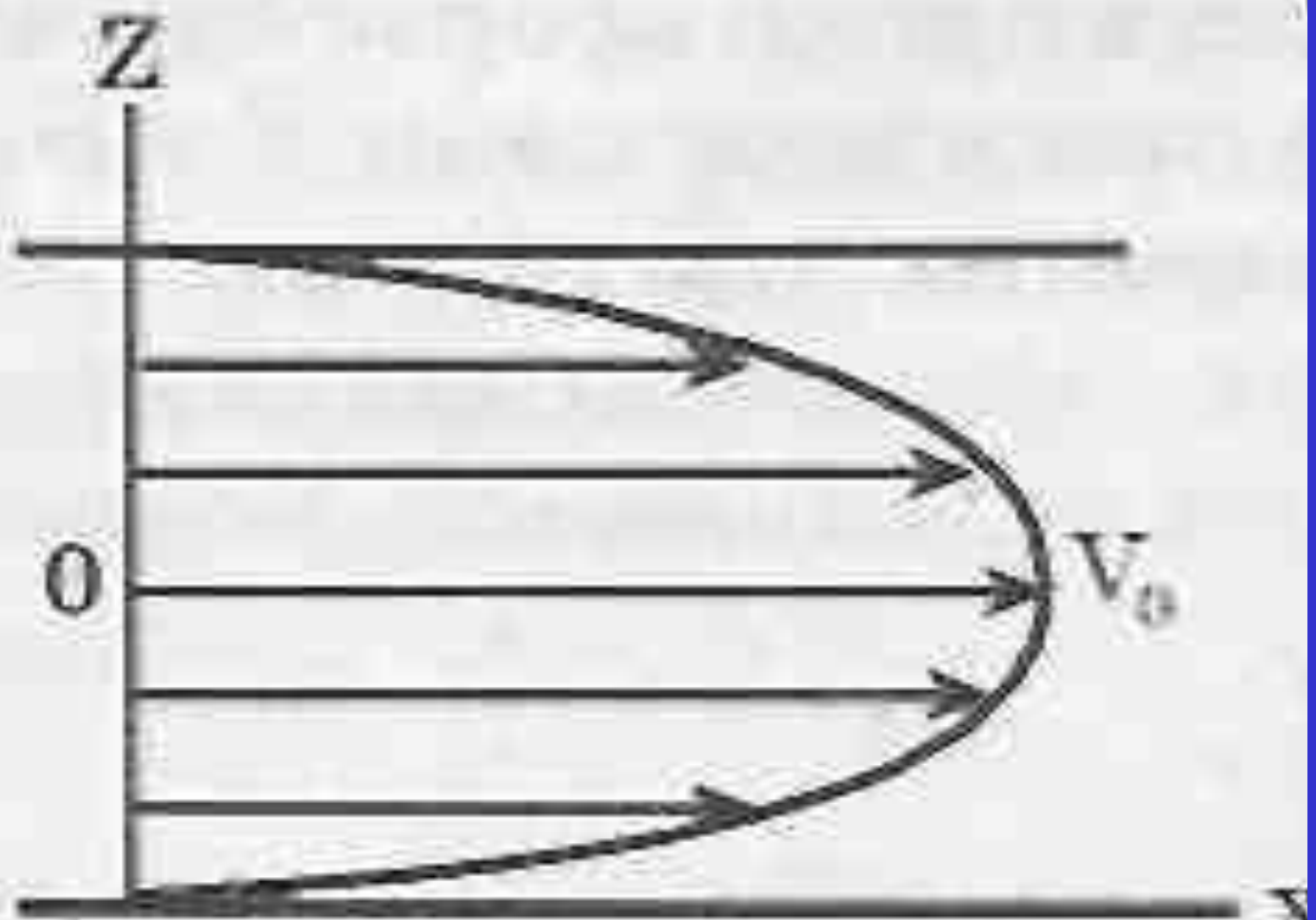
- Қалыпты жағдайда =
- *анемия кезінде* =
- *полицитемияда* =
- *Плазманың тұтқырлығы*
- Судың тұтқырлығы = 0,01 Пуаз (1 Пуаз = 0,1 Па • с).

Кез келген сұйықтар тәрізді қан тұтқырлығы температура төмендегенде артады. Мысалы, температура 37°C -тен 17°C -қа дейін төмендегенде қан тұтқырлығы 10% - ке артады.

Қан ағысының режимдері

- *Сұйықтың ағысы ламинарлы және турбулентті болып бөлінеді.*
- *Сұйық қабаттарының бір-бірімен араласпай бірқалыпты ағуын ламинарлы ағыс деп атаймыз.*

a

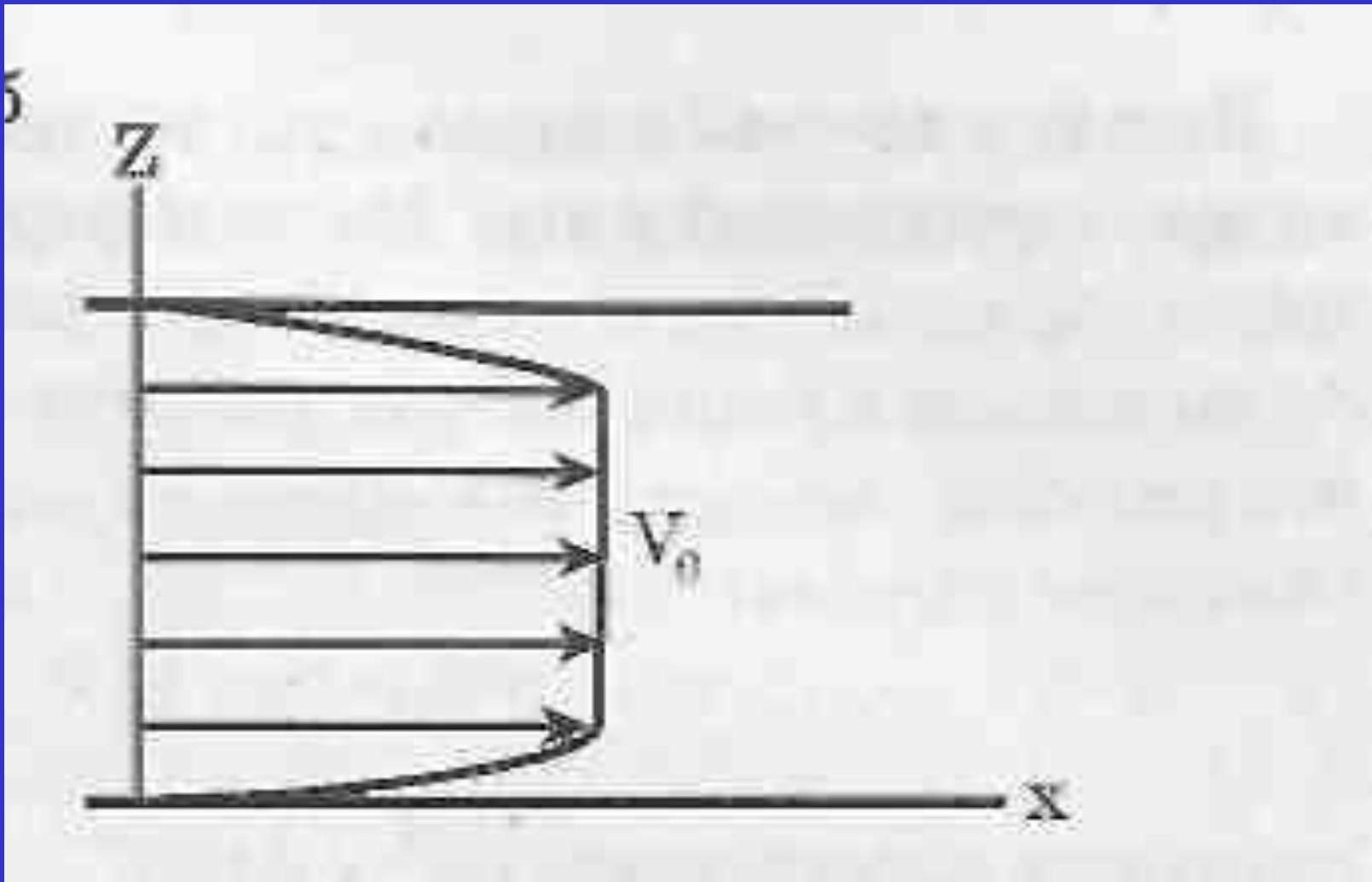


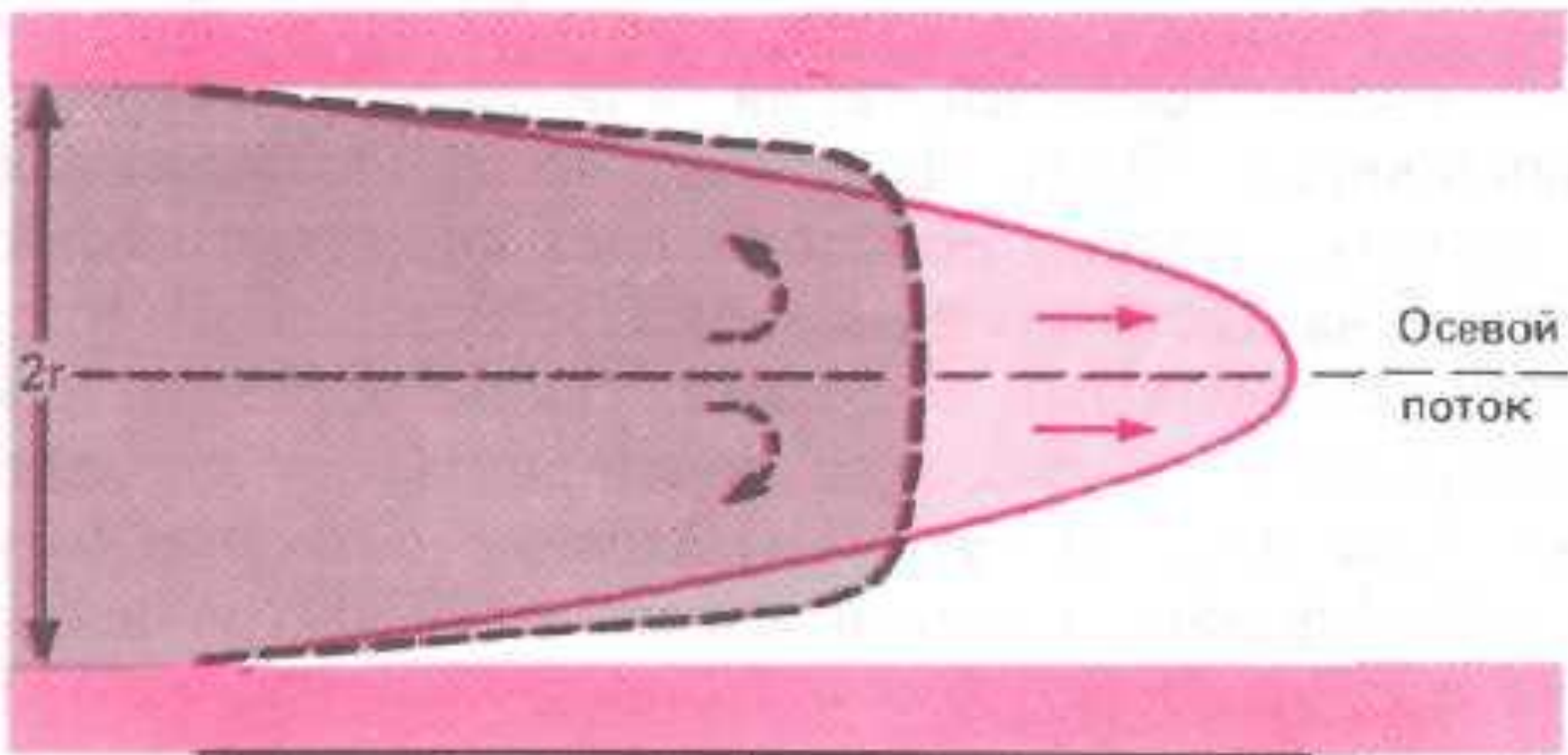
Ағыс жылдамдықтарының артуымен ламинарлы ағыс *турбуленттікке* айналады.

Сұйық қабаттары бір-бірімен араласады, яғни ағынды *турбулентті* қозғалыс д.а.

Қысым әсерінен құйынды түрдегі қозғалыс *турбулентті* немесе *құйынды* ағыс д.а.

Түтіктегі *турбулентті ағыстың* жылдамдық профилі
ламинарлы ағыстың парабодалық профилінен
ерекшелінеді.





v_0

\bar{v}

v_{max}

Тип потока

Скорость

Турбулентный

Ламинарный

- Сұйықтар ағысы *Re Рейнольдс* санымен сипатталады.

- Дөңгелек түтіктегі сұйықтар ағысы үшін:
$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

Мұндағы v – көлденең қимадағы ағыс жылдамдығы, d – түтіктің диаметрі.

$Re_{кр} < 2300$, онда сұйықтың ағысы *ламинарлы*.

- Егер $Re > Re_{кр}$ болса, онда ағыс *турбулентті*. Қанның тамырлар бойымен қозғалысы *ламинарлы* болып табылады.

Қанның турбулентті қозғалысы:

- *оның қарыншадан аортаға шығарылуында (доплер-кардиография);*
- *тамырлар тармақтарында, артерияда, қан ағысының жылдамдығы артқанда (бұлшық етпен жұмыс істеуде) байқалады.*

Сонымен қатар тамырлардың жергілікті (локальды) тарылу аумағында, мысалы тромба түзілгенде пайда болады.

Қанның турбулентті ағысы кезінде пайда болатын дыбыстарды - ауруды *диагностикалау үшін қолданады.*

Жүрек қақпашалары жарақаттанғанда қанның турбулентті қозғалысы болатын *жүрек шумдары п.б.*

Ірі қан тамырларындағы қанның ағысы

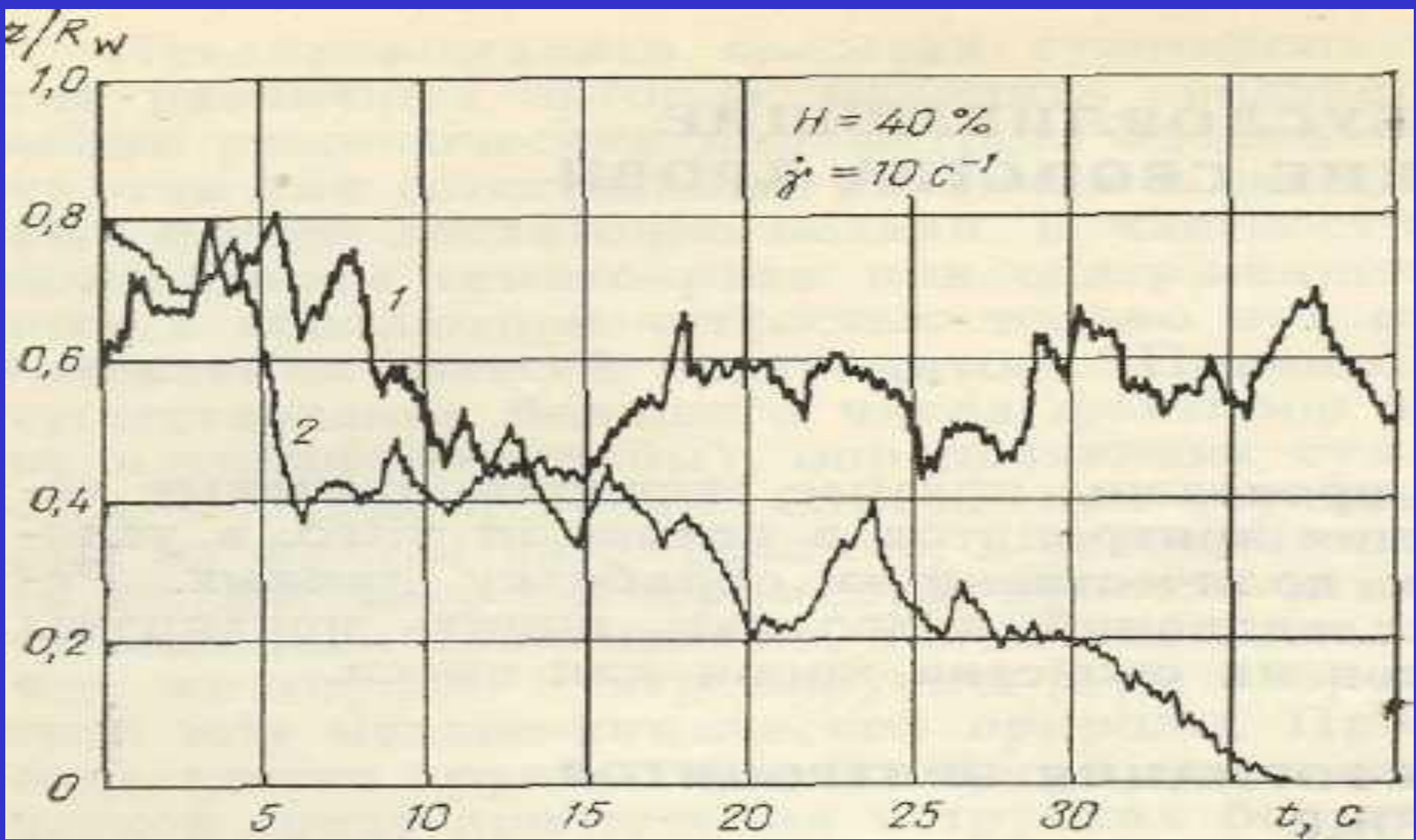
- *Турбулентті ағыс аортаның басында және ірі тамырлардың тармақтарында болуы мүмкін.*
- *Жүректен қашықтаған сайын хаостық пульсақиялар толығымен жойылады.*

- Қанның турбулентті ағысы эритроциттерге де тәуелді.
- Қан плазмасы жоғары молекулалы байланыстардан, ал қан жасушасы серпімділік қасиеті бар эритроциттерден тұрады.

- Ағзада қан тұтқырлығы *азаятын* болса, онда *Рейнольдс саны* барлық тамырларда артады.
- *Қолқа* бөлігінде Рейнольдс саны критикалық мәннен басым болса, онда ағыс турбулентті болып, кедергі артады (ірі қан тамырларда).

- Қанның қасиетіне эритроциттердің қоспа ретінде *әсер ету механизмі.*

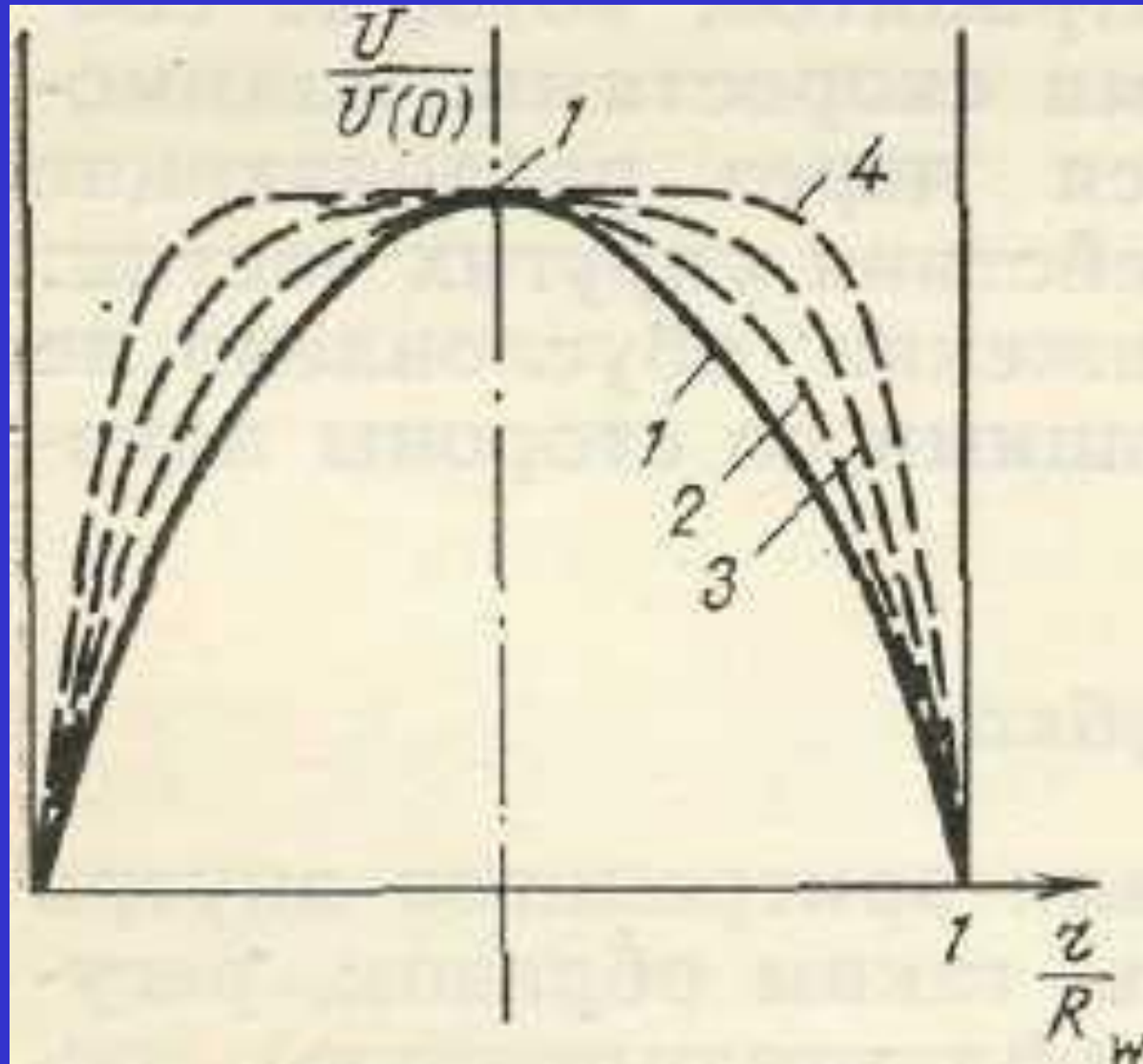
Эритроцит түтік бойымен аға отырып,
ретсіз көлденең қозғалыс жасайды (1).
Бұл әр түрлі жылдамдықтармен
қозғалатын *эритроциттердің*
соқтығысуы болып табылады.



Жылдамдық профилі

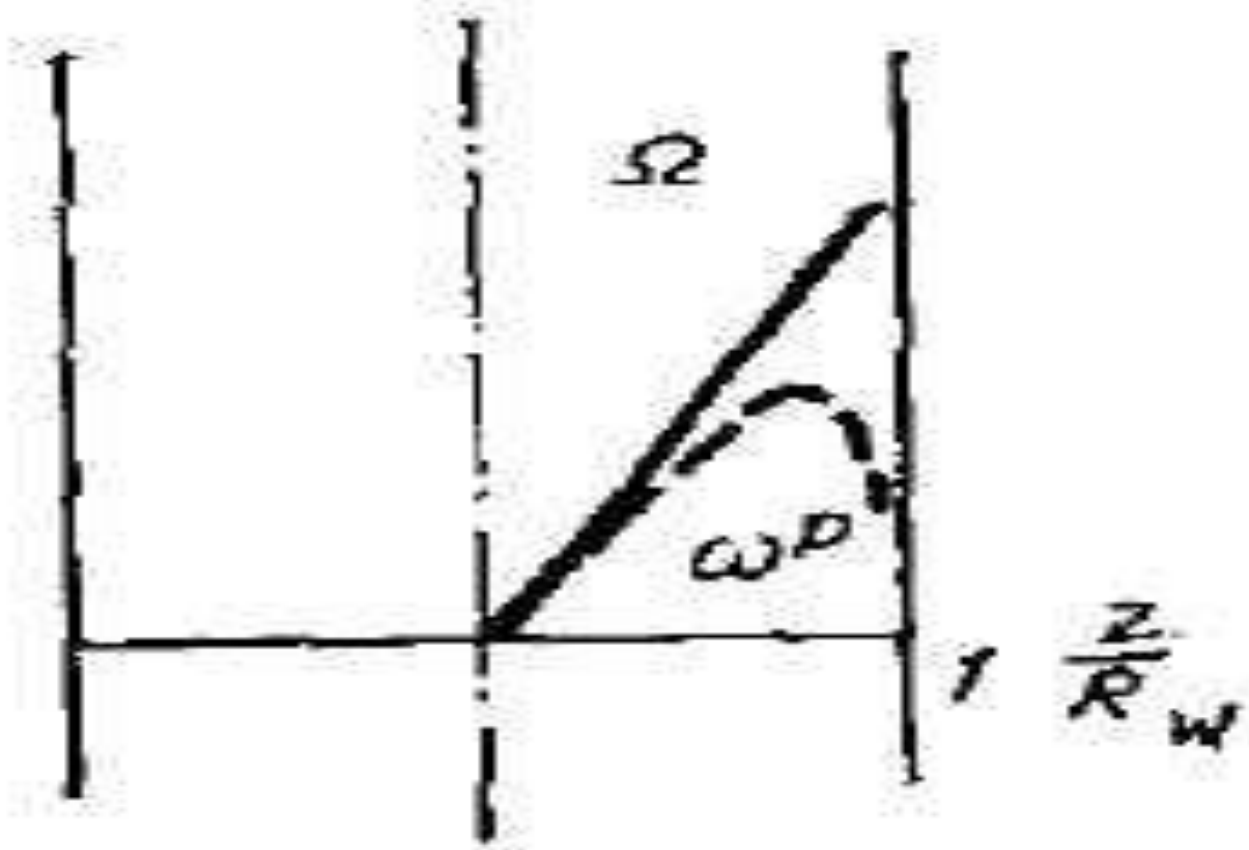
Диаметрі 40÷300 мкм түтіктерде эритроциттердің жылдамдық профилі осьте жазықтау, ал қабырғасында - белсенді болады.

2— $R_w = 40$, 3— $R_w = 25$ и 4— $R_w = 15$ мкм.



Айналу және бағытталуы

- Ағынның ағуымен эритроциттер, қанның аз көлеміндегі айналудың бұрыштық жылдамдығына Ω тең ω^p бұрыштық жылдамдықпен айнала отырып қозғалады.
- Қабырғаға жақын аумақта айналуы азайып, $\omega^p < \Omega$ тең болады. Эритроцитер сфералық емес болғандықтан, бір айналым кезеңінде оның бұрыштық жылдамдығы айнымалы. $\gamma > 50 \text{ c}^{-1}$ кезінде деформациясы басталып, эритроциттер айналуы тоқталады да, формасын өзгерте отырып, бұрылады.



Деформация

Диаметрі 40 мкм шыны түтіктің қабырғаға жақын аумағында қанның таралу жылдамдығының артуынан эритроциттердің *деформациясы* тіркеледі: эритроциттер *овальды және бірден ұзарады*.

• *Соқтығысулардан, плазма және қабырға тарапынан әсер ететін күштің әсерінен ағындағы эритроциттер деформациясы пассивті болады.*



2 мкм



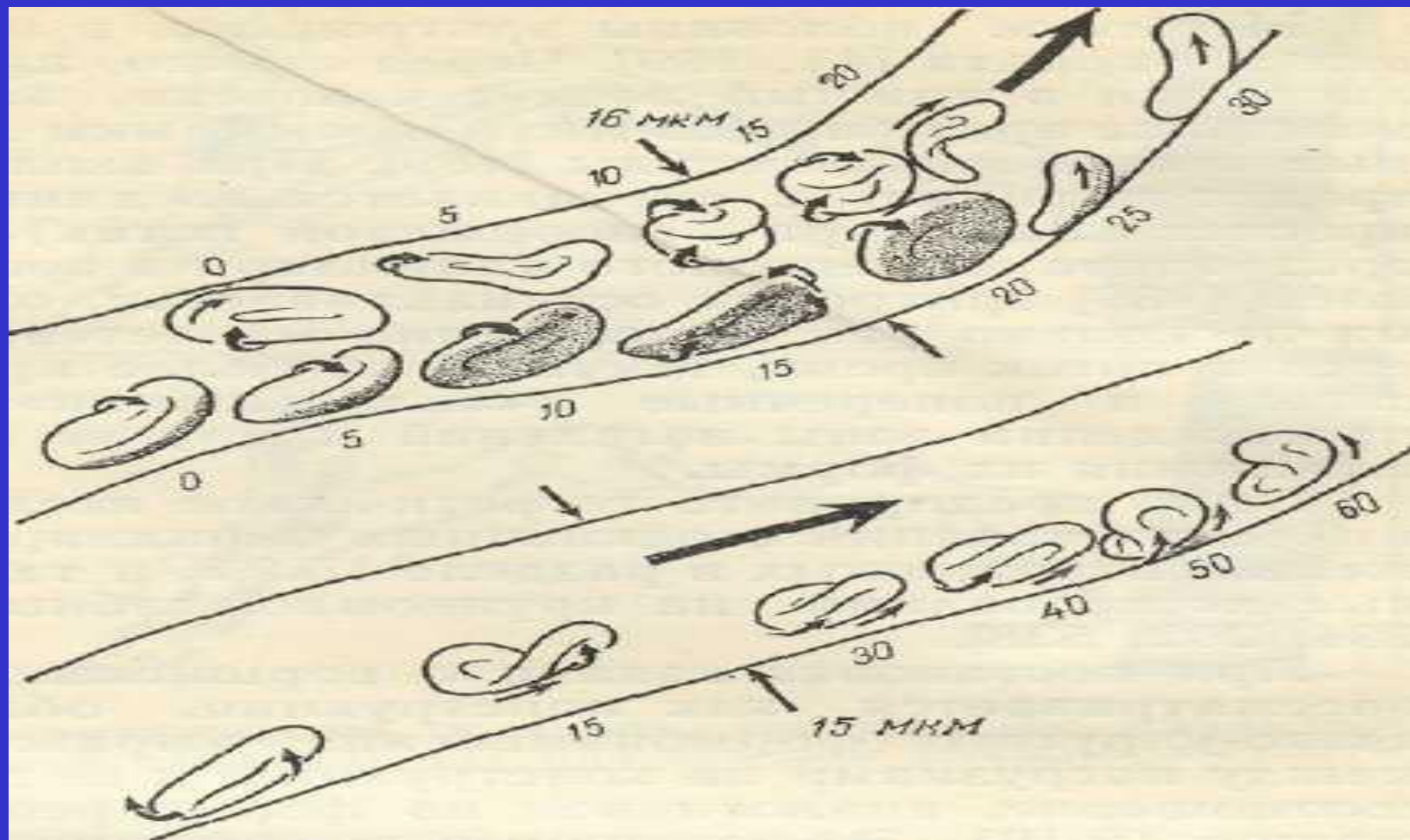
в) деформация эритроцита
в капилляре

*Капиллярдағы эритроциттер
деформациясы*

Ұсақ тамырдағы ағыс

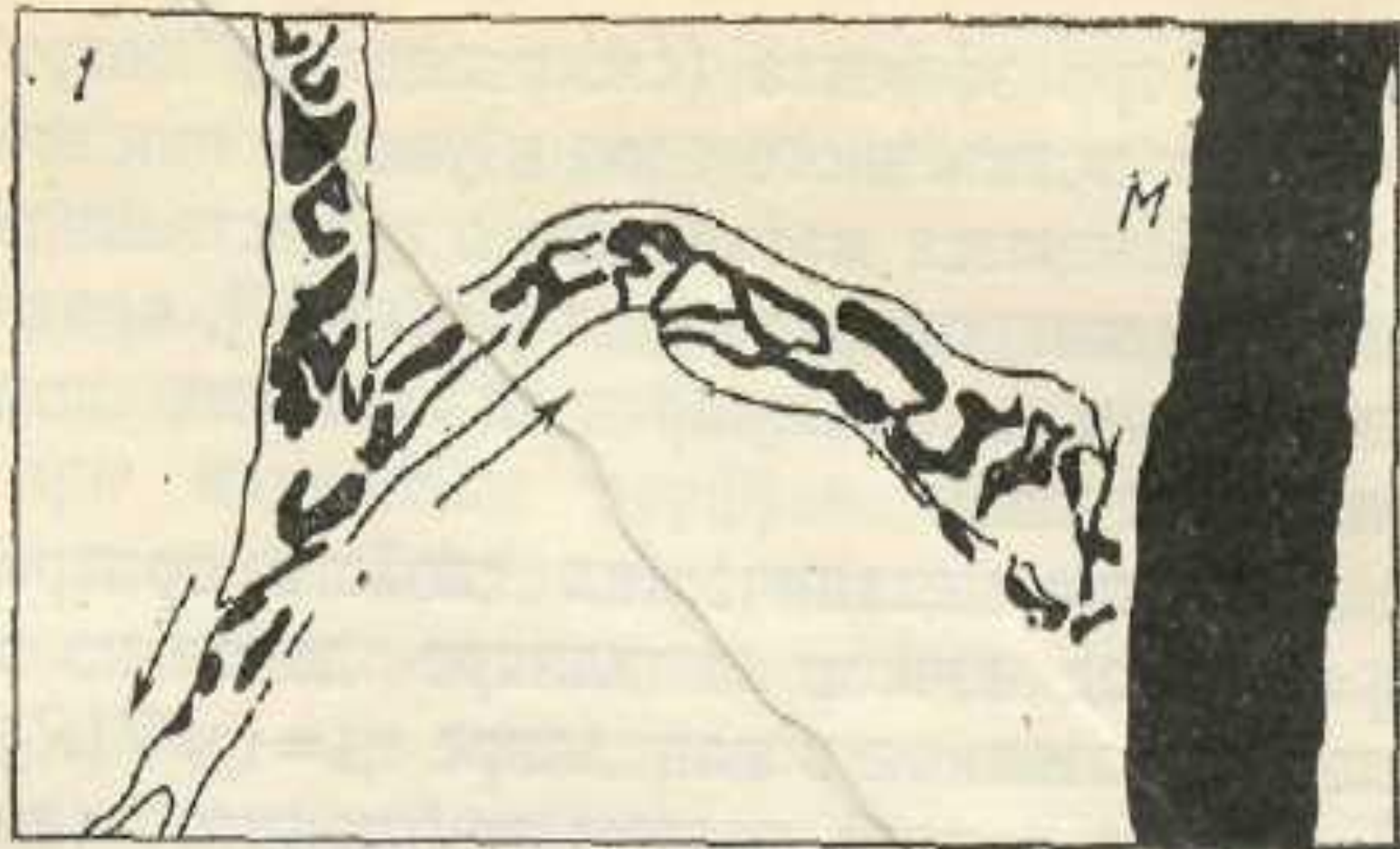
Рейнольдс саны $Re < 0,5$, диаметрі 15—20 мкм түтіктің қабырғаға жақын шетінде эритроциттер траекториямен қозғала отырып, айналады. Эритроциттер 2—10 мс ішінде, яғни 15—40 мкм жолда остен айнала толық айналыс жасайды. Түтік диаметрі артқан сайын эритроциттер траекториясы күрделірек болады.

Диаметрі 15 мкм артериол бойымен эритроциттердің формасын өзгертуі және айналуы.

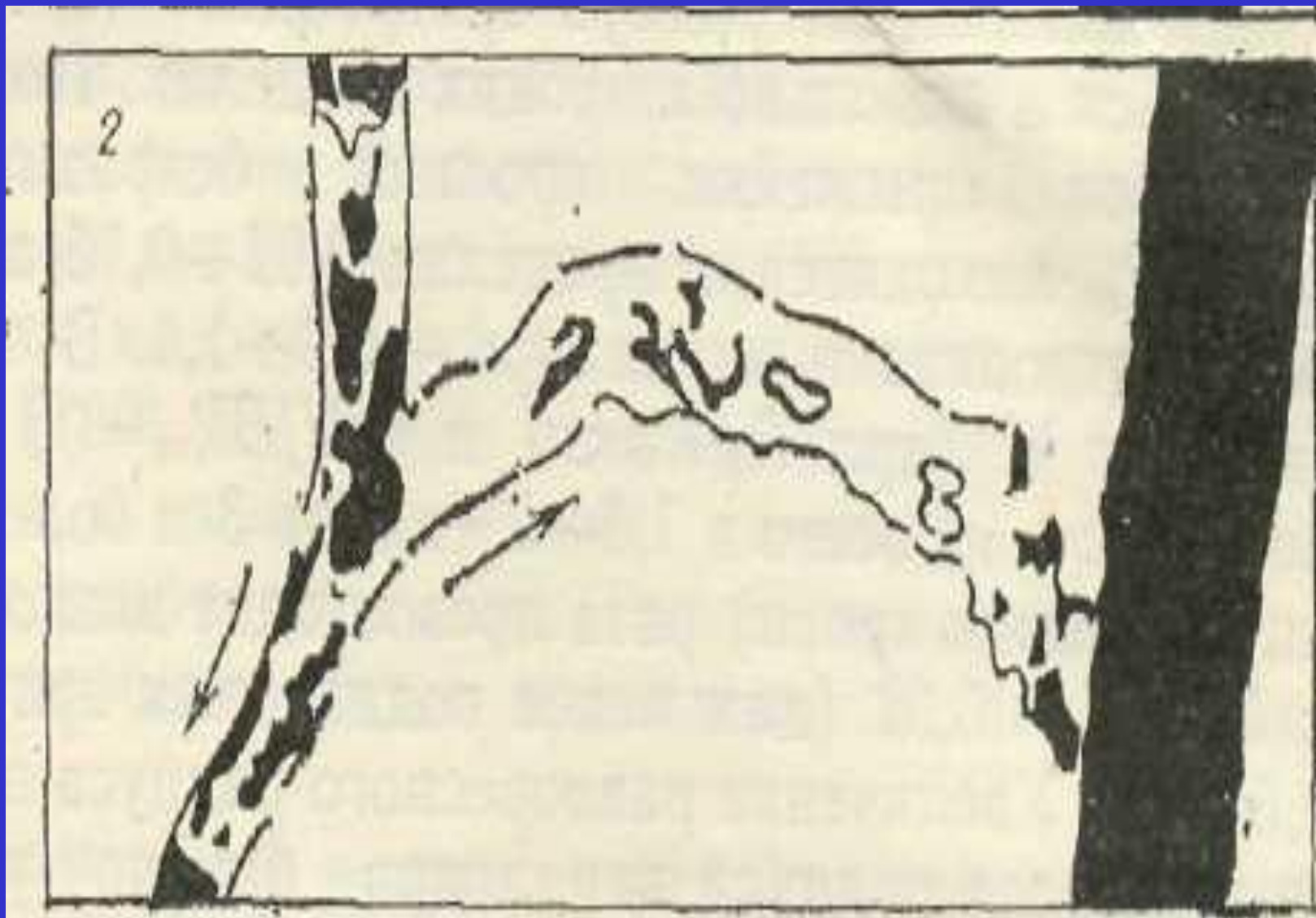


Диаметрі 8 мкм эритроциттер түтікке кіру барысында ұзарады, айналады (скручивается) және капиллярдың саңылауын толтырады. Эритроциттердің веноздық капиллярдан венулаларға өту уақытында жылдам ағыстағы эритроциттер кідіреді де, қанның ағысына қатысқанға дейін формасын бірнеше рет өзгертеді.

Ұсақ қан тамырындағы өзгерістерге эритроциттер концентрациясы да әсер етеді. Егер артериалдық тамырдың шеткі тармақтарын тарылтатын болсақ, онда осы тармаққа келіп түсетін эритроциттер саны азаяды.



Тамыр тармагының тарылу кезіндегі қандағы эритроциттер концентрациясы: (2)



Қанның тамыр бойымен және әсіресе тамырлар жүйесінің әр түрлі бөліктерімен таралуы жүректің жұмысына ғана тәуелді емес, тамырлар саңылауына, тамырлар қабырғасының тонусына және оның тұтқырлығына тәуелді.

Әдебиеттер:

1. Арызханов Б., Биологиялық физика, 1990 ж.
2. Самойлов В.О. Медицинская биофизика, С-П, 2007г.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика, Киев, 2004г.с.231-255
4. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика, М., 2004г.

Бақылау сұрақтары:

- Қанның қан тамырларымен қозғалысының негізгі гидродинамикалық заңдылықтары қандай?
- Қан тасымалдаушы жүлгелер бойымен қан қозғалысының физика-математикалық заңдылықтары қандай?
- Пульстік толқынның таралуы қалай жүреді?
- Соққылық көлем дегеніміз не?