



IMMUNOLÓGIAI ÉS
BIOTECHNOLÓGIAI
INTÉZET



Áramlási citometria, sejtszeparációs technikák

Az immunológia alapjai

PTE-KK, Immunológiai és Biotechnológiai Intézet
Pécs

Áramlási citometria gyakorlat



Minta:

Alvadásgátolt humán vér



1. Jelölés

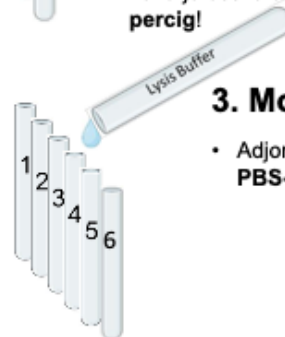
A számozott flow csövekben az alábbi antitest-keverékek találhatóak:

1. Cső: anti-CD3-FITC + anti-CD4-PE
2. Cső: anti-CD3-FITC + anti-CD8-PE
3. Cső: anti-CD19-FITC + anti-CD5-PE
4. Cső: anti-CD3-FITC
5. Cső: anti-CD19-FITC
6. Cső: nincs antitest-autofluoreszcens kontroll

Pipetázzon **50 µl** vért számozott csövek aljába, majd keverje össze óvatos rázó mozdulatokkal! **Inkubálja 30 percig!**

2. Hemolízis

- Adjon **1 ml lízis puffert** minden csőhöz.
- **Inkubálja 10 percig.**



3. Mosás

- Adjon hozzá **2 ml PBS-t.**



4. Centrifugálás:

- **1000 rpm, 5 perc**



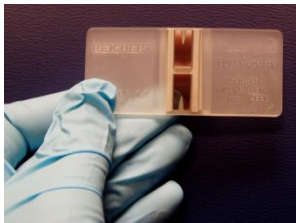
5. Fixálás

- Öntse le a felülúszót.
- A pelletet reszuszpendálja **500 µl FACS-Fix** oldatban (**PBS + 0,5% paraformaldehid**)



Az áramlási citometria (flow cytometry) definíciója

- Mitől citometria?
 - Sejtek paramétereinek vizsgálatára alkalmas módszer. (pl. sejtszám, méret, granularitás, fehérjék jelenléte a felszínen vagy a citoplazmában, DNS-tartalom, stb., lásd a következő diákon)
- Mitől áramlási?
 - Folyadékban szuszpendált sejteknek vagy egyéb partikulumoknak lézerfény és detektorok előtti áramoltatásán alapul. (lásd a következő diákon)
- Mire jó?
 - Egy nagyobb sejtmennyiség **gyors, multiparaméteres** vizsgálatát teszi lehetővé, vagyis amellet, hogy rövid időn belül sok sejtet vizsgál, egyetlen vizsgált sejtről egyidejűleg több paramétert is megad. (méret, granularitás, jelöléstől függően egyéb, lásd a következő diákon)

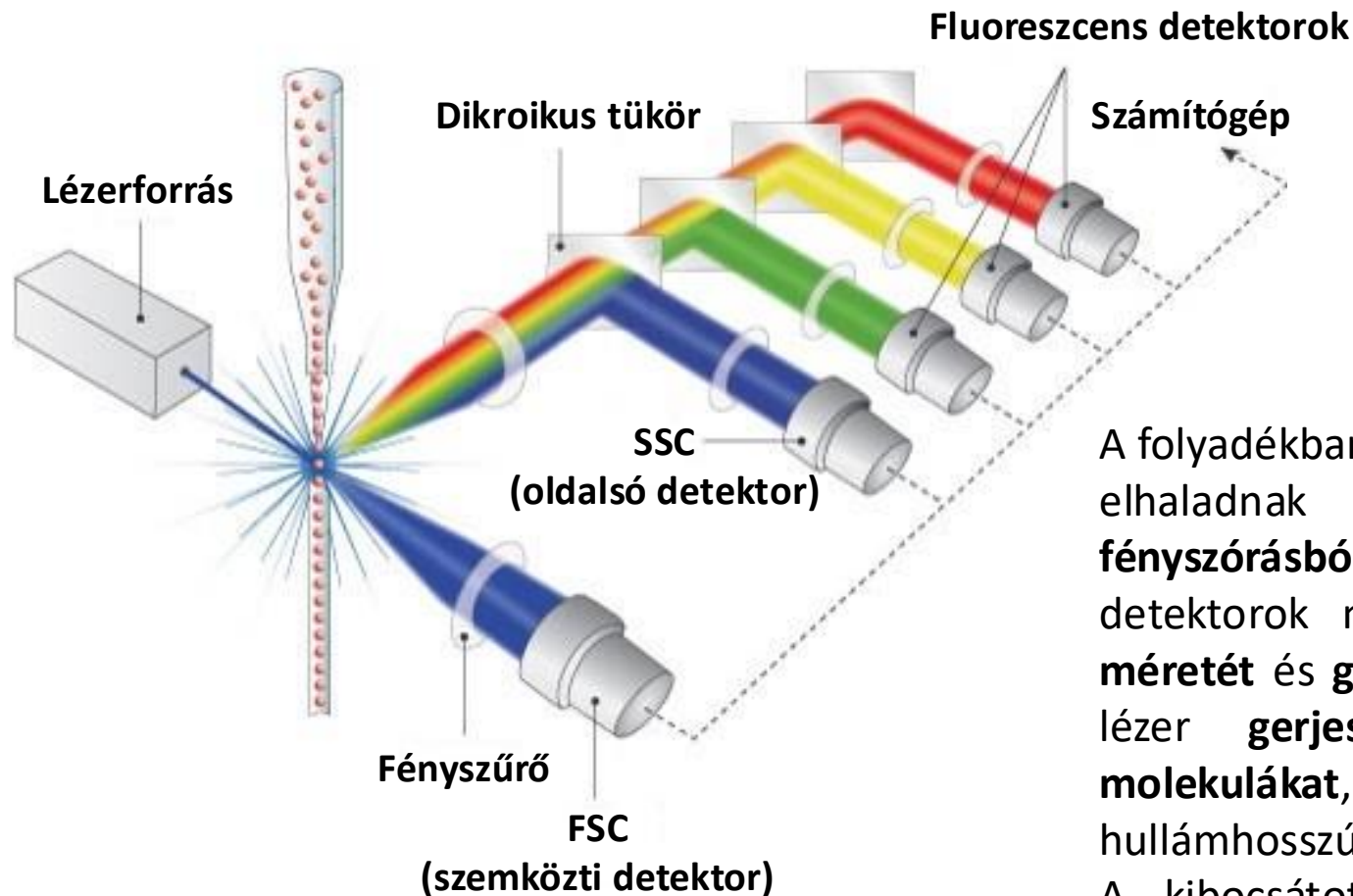


Egy hemocitométer:
Mikroszkóp alatt a vizsgáló megszámol percenként kb. 100-200 sejtet.



BD FACSCanto™ II áramlási citométer:
Egy másodperc alatt akár 10.000 sejtet is képes lemérni.^[1.]

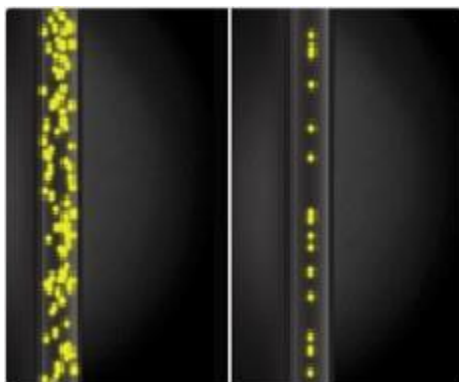
Az áramlási citometria lényege



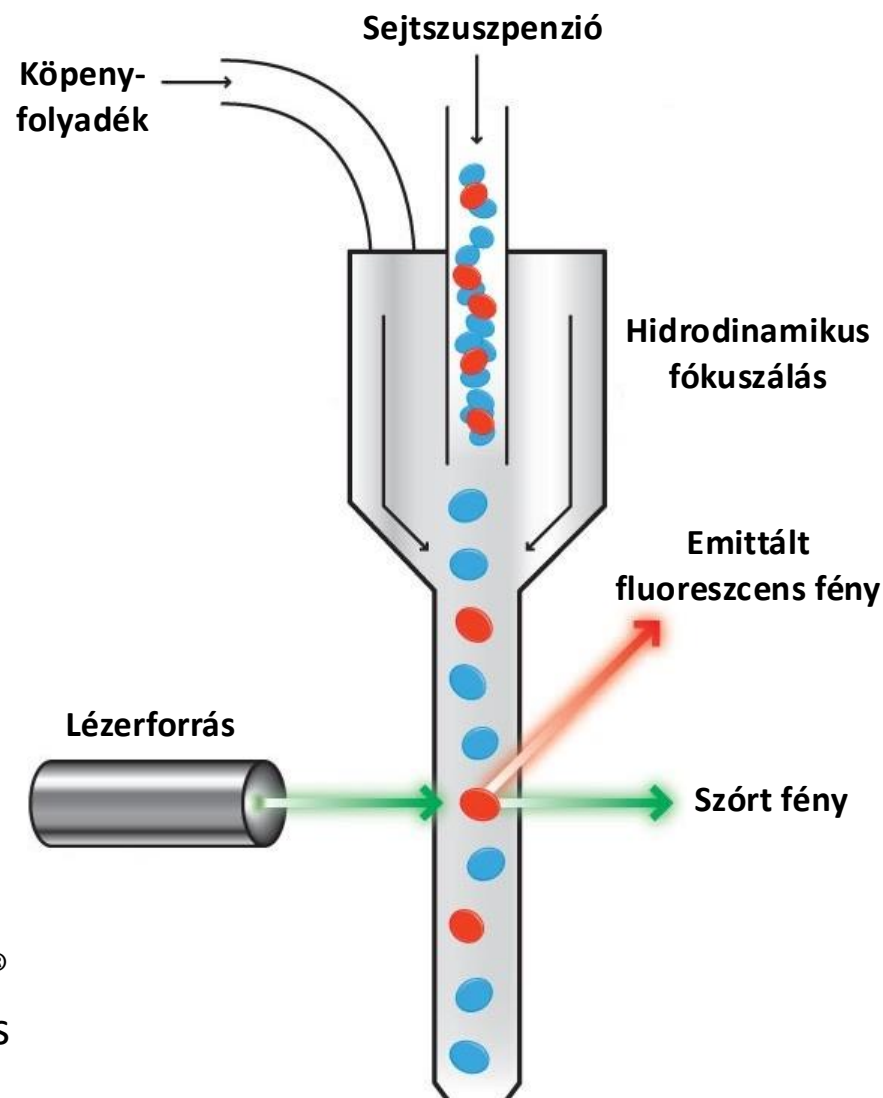
A folyadékban lévő sejtek **egyesével** elhaladnak a lézer előtt. A **fényszórásból** az FSC és SSC detektorok meghatározzák a sejt **méretét** és **granularitását**, illetve a lézer **gerjeszti** a **fluoreszcens molekulákat**, amik a rájuk jellemző hullámhosszúságú fényt **emittálják**. A kibocsátott fluoreszcens fényt **dikroikus tükrökkel** vagy filterekkel terelik a megfelelő **detektorhoz**.^[2.]

Hidrodinamikus fókusztálás

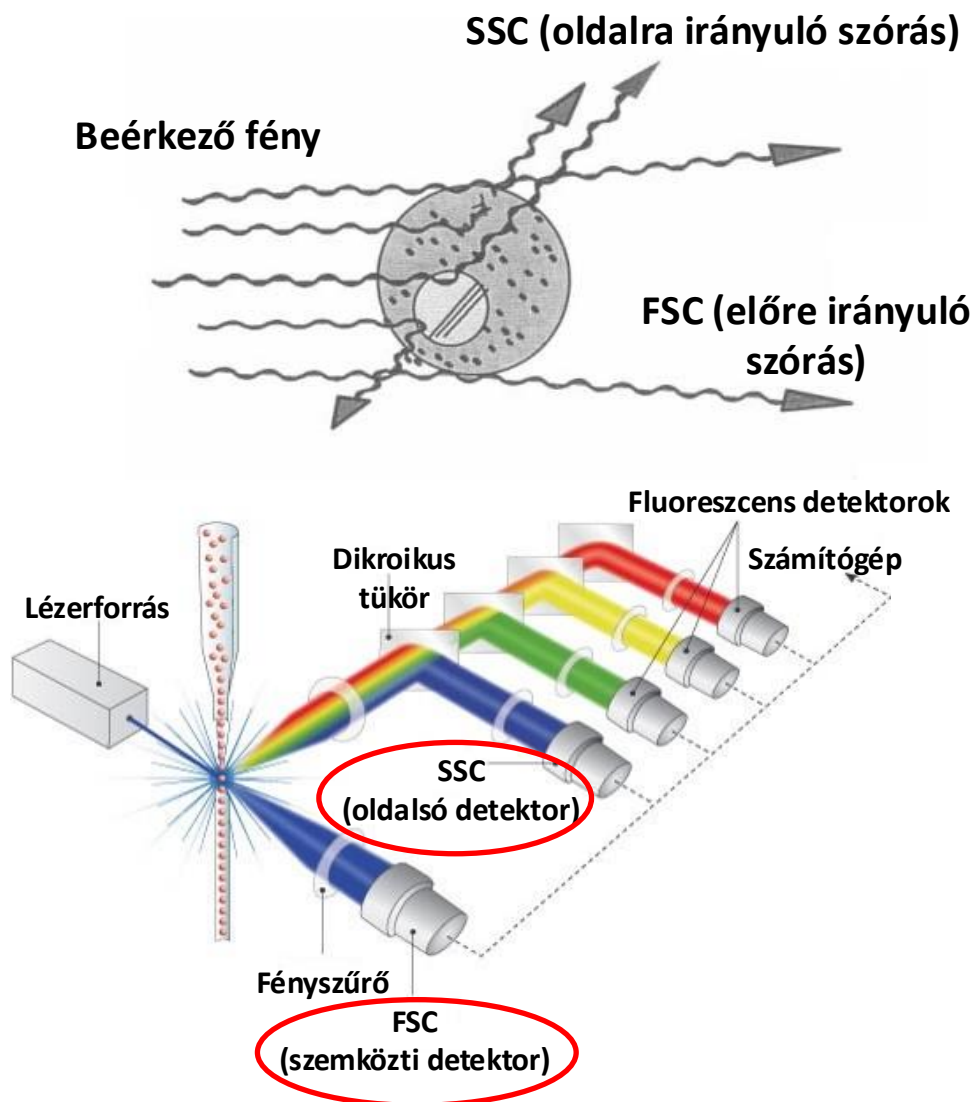
- A folyadékban lévő sejteket a hozzájuk áramoltatott **köpeny-folyadék** (angolul sheath fluid, ez általában PBS) sorba rendezi. A sejtek így egymás után, **egyesével** haladnak egy **kapillárisban**. A **lézerfény** erre a kapillárisra fókusztált.
- Ultrahang is használható a sejtek fókusztálására (akusztikus fókusztálás):



Az akusztikus fókusztálást használó Attune® áramlási citométer fókusztálás nélkül (bal) és fókusztálással (jobb).



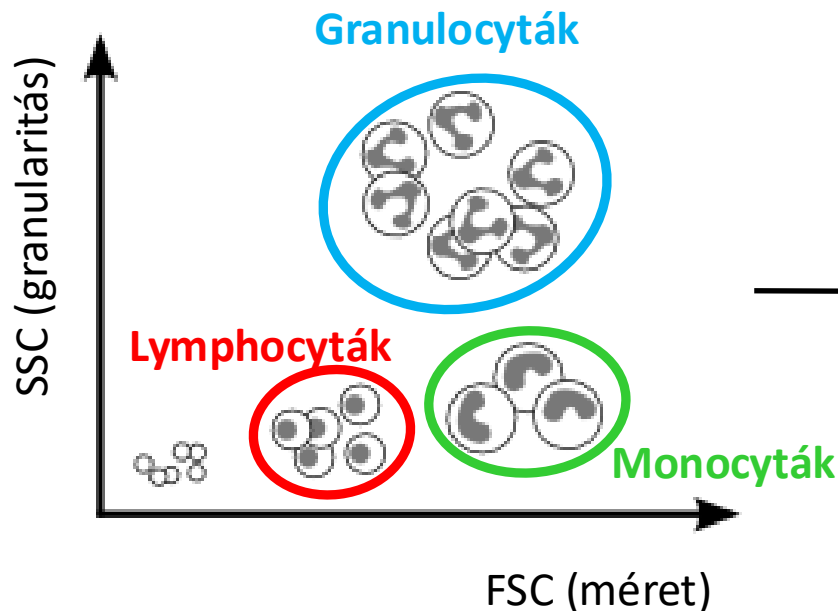
Az FSC és SSC detektorok



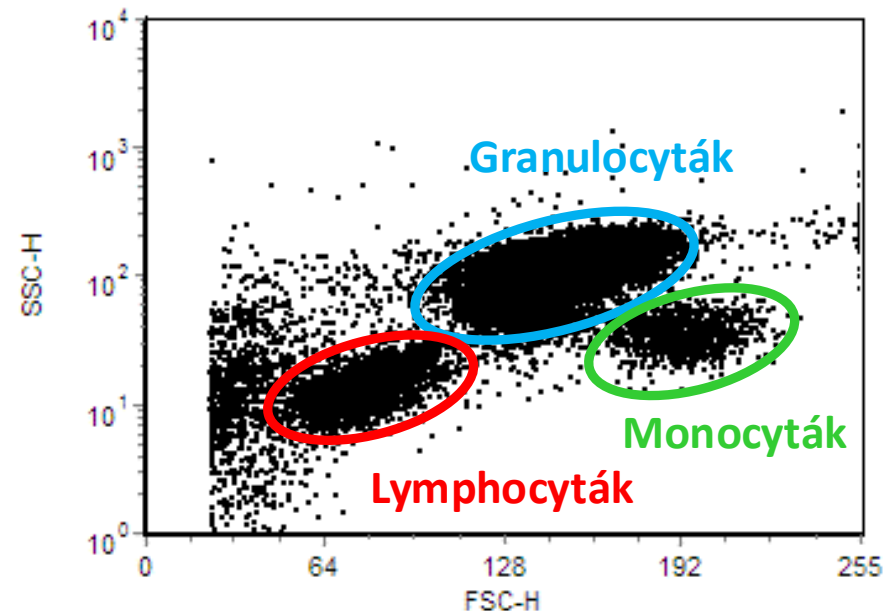
- A **FSC** (forward scatter) detektor a kibocsátó lézerforrással nagyjából szemben található, a sejt felszíne által okozott fényszórást méri, ami a sejt **méretével arányos**.
- Az **SSC** (side scatter) detektor a sejtre érkező lézerfényhez képest oldalt található, a sejt belsejében előforduló membránnal körülvett struktúrák (pl. granulumok, mitokondriumok, stb.) által okozott szórást méri, ami a sejt **granuláltságával arányos**.

Dot plot bemutatása FSC és SSC alapján

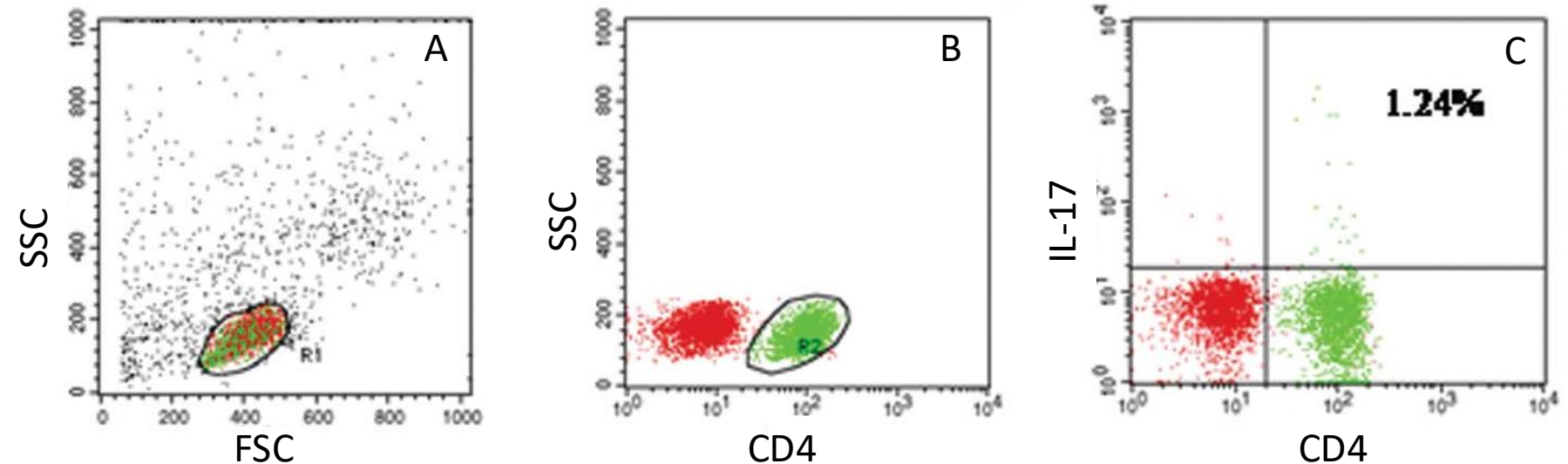
A **dot plot** (dot = pont, plot = kép) az áramlási citometriás vizsgálatok egy jellegzetes megjelenítési formája. Egy **kéttengelyű koordináta-rendszerben** helyezi el a sejteket a beállított két paraméter függvényében. Minden egyes látott pont egy sejtnek felel meg. Az azonos sejtcsoportba tartozó sejtek nagyobb halmazokat, **sejtpopulációkat** alkotnak. Az egyes populációk ezt követően kiválaszthatók („**kapuzás**”) és külön-külön vizsgálhatók más paraméterekre.



Humán perifériás vér dot ploton:



Példa a kapuzásra

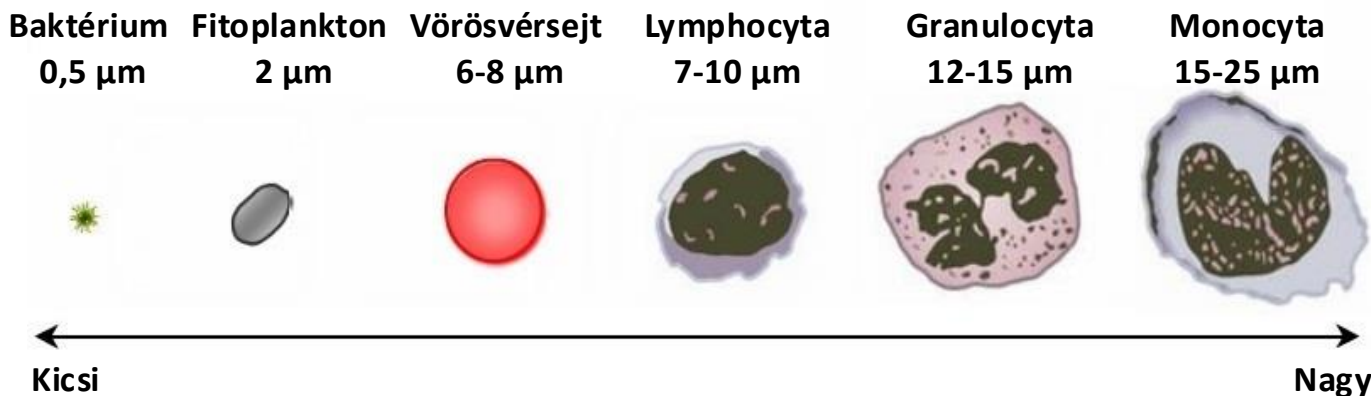


Szerették volna a mintában meghatározni a Th17 sejtek (lásd 2. gyakorlat) arányát. A vért fluoreszcensen jelölték (lásd következő diákon) CD4-re, és IL-17-re, majd a mintát áramlási citométerrel vizsgálták.

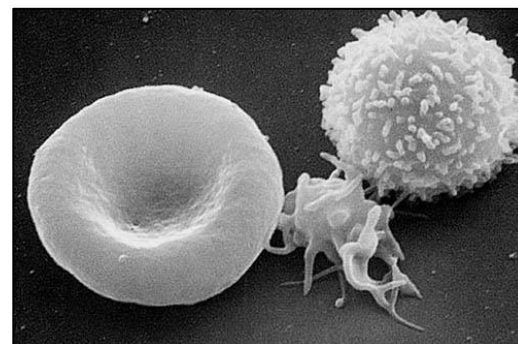
- **A:** Méret (FSC) és granularitás (SSC) alapján kiválasztották a lymphocytákat. (R1 kapu)
- **B:** A lymphocytákon belül kiválasztották a CD4 pozitív sejteket. (R2, zöld kapu)
- **C:** A lymphocytákon belül vizsgálták az CD4+ és IL-17+ sejtek arányát. (jobb felső kvadráns, 1,24%-a az összes lymphocytának.)

Áramlási citometria és a vörösvérsejtek

- A vörösvérsejtek zavarják a vérminták vizsgálatát, mert:
 - **Hasonló mérettartományba** esnek, mint a lymphocyták.
 - A lymphocytákhoz képest sokkal **több van belőlük**, ezért elfedik a lymphocytákból érkező jelet.

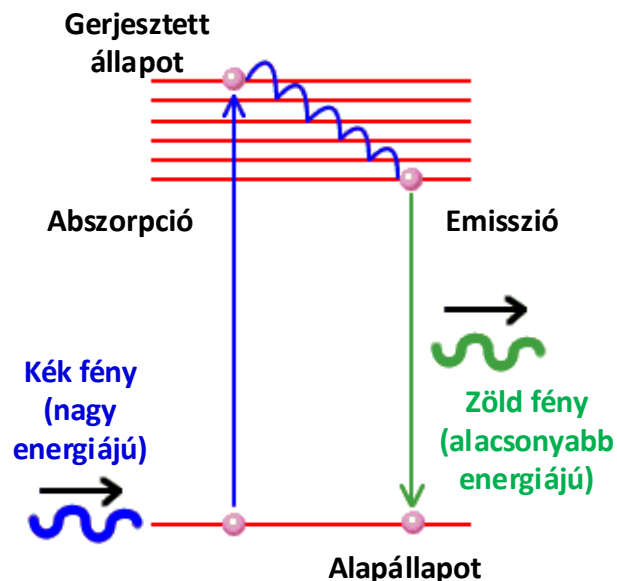


- Módszerek a vörösvérsejtek eliminálására:
 - **Hemolízis**
 - **Ficoll-grádiens centrifugálás** (lásd később)

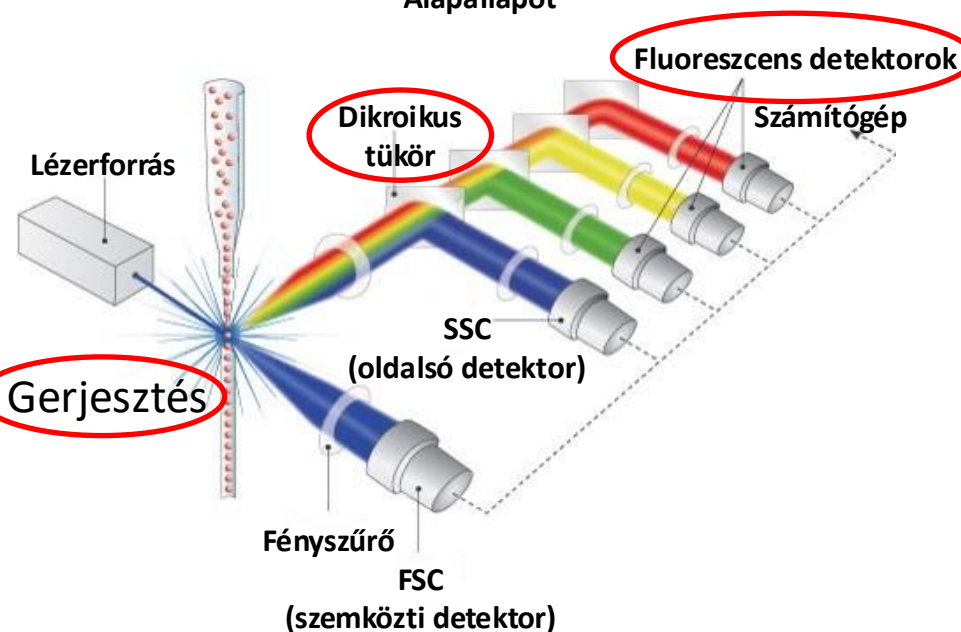


Vvt, tct és egy lymphocyta

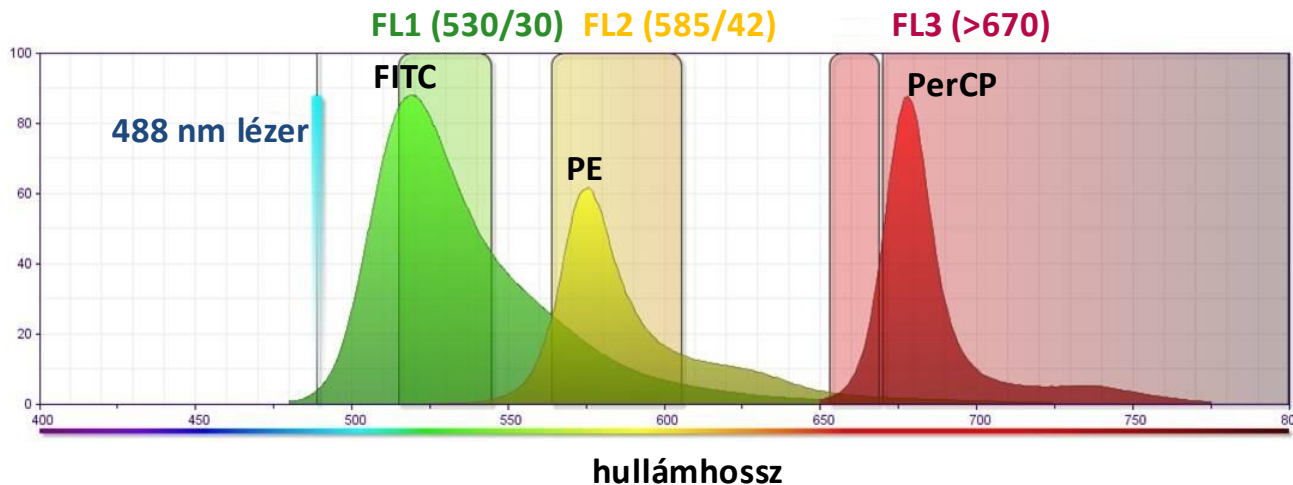
Immunfluoreszcens jelölés



A méret és a granularitás mellett a sejtekből érkező fluoreszcens jel is detektálható. A lézer **gerjesztő fényként** gerjeszti a jelöléshez használt antitesthez konjugált **fluorokrómot**, ami valamilyen rá jellemző hullámhossz tartományban (**emissziós spektrum**) fényt bocsát ki. A különböző hullámhosszú fluoreszcens fényt **dikroikus szűrőkkel** vagy **tükrökkel** el lehet különíteni és a nekik megfelelő **detektorokba** terelhetők.



A fluoreszcens spektrum



A BD FACSCalibur lézerei:^[3.]

488 nm argon lézer

635 nm vörös dióda lézer

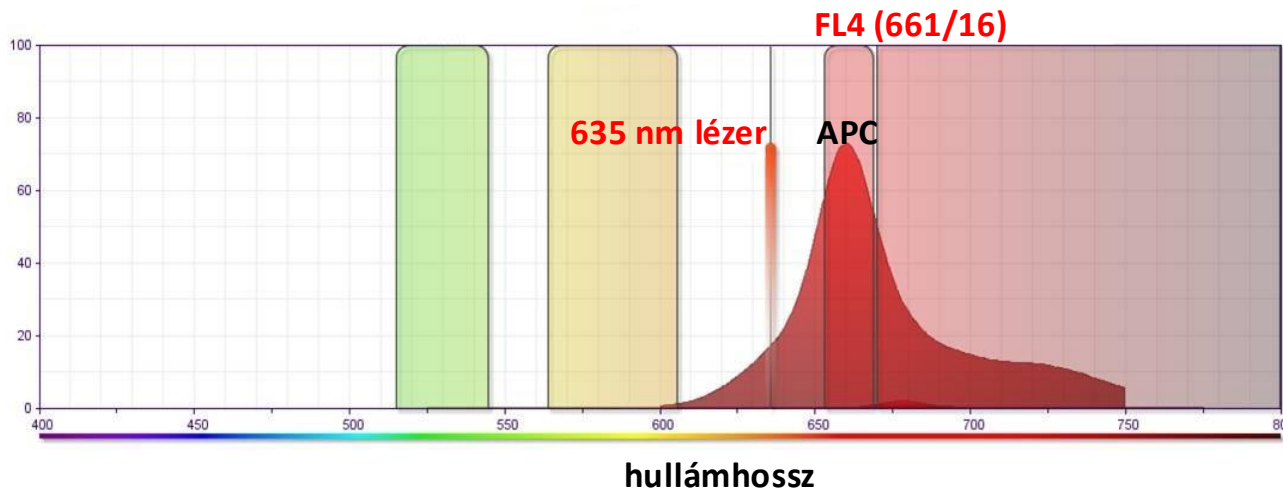
A BD FACSCalibur detektorai:

FL1: 515-545 nm (530/30)

FL2: 564-606 nm (585/42)

FL3: >670 nm

FL4: 653-669 nm (661/16)



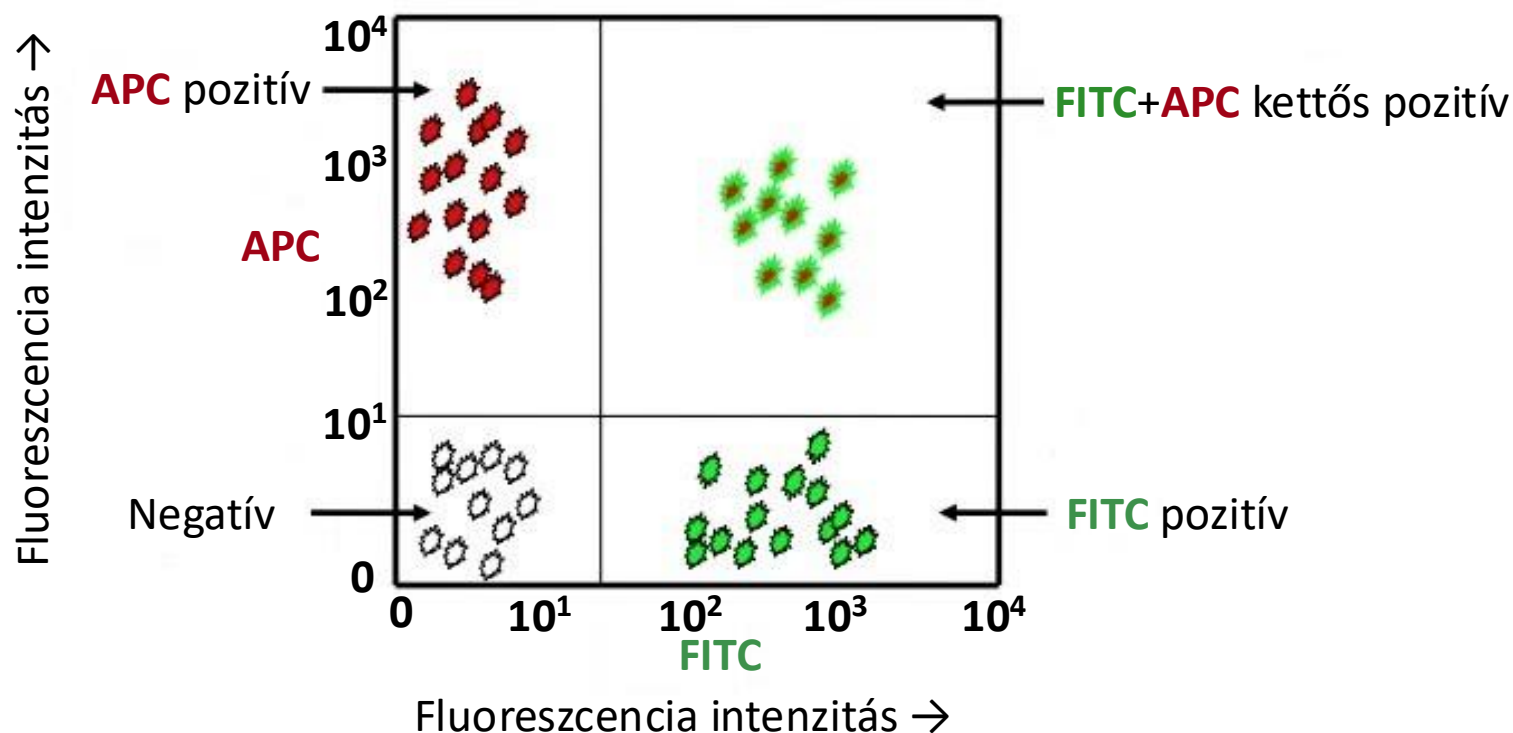
A lézerekkel ellentétben, amik egy fix hullámhosszúságú fénynyalábot bocsátanak ki, a fluorokrómok egy rájuk jellemző **emissziós spektrummal** rendelkeznek, amik sokszor jelentősen **átfednek** egymással.

Fluorokrómok

Fluorokróm	Színe	Gerjesztési hullámhossz		Emissziós hullámhossz	
		max. (nm)	Gerjesztő lézer (nm)	max. (nm)	
Hoechst 33342	Blue	350	355, 375	461	
Brilliant Violet™ 421	Blue	407	405	421	
BD Horizon™ V450	Blue	404	405	448	
Pacific Blue™	Blue	401	405	452	
BD Horizon™ V500	Green	415	405	500	
AmCyan	Green	457	405	491	
Alexa Fluor® 488	Green	495	488	519	
FITC	Green	494	488	519	
PE	Yellow	496, 564	488, 532, 561	578	
Brilliant Violet™ 605	Orange	407	405	602	
BD Horizon™ PE-CF594	Orange	496, 564	488, 532, 561	612	
PI	Orange	351	488, 532, 561	617	
7-AAD	Red	543	488, 532, 561	647	
APC [†]	Red	650	633, 635, 640	660	
Alexa Fluor® 647	Red	650	633, 635, 640	668	
PE-Cy™5 [†]	Red	496, 564	488, 532, 561	667	
PerCP	Red	482	488, 532	678	
PerCP-Cy™5.5	Far Red	482	488, 532	695	
Alexa Fluor® 700	Far Red	696	633, 635, 640	719	
PE-Cy™7	Infrared	496, 564	488, 532, 561	785	
APC-Cy7	Infrared	650	633, 635, 640	785	
BD APC-H7	Infrared	650	633, 635, 640	785	

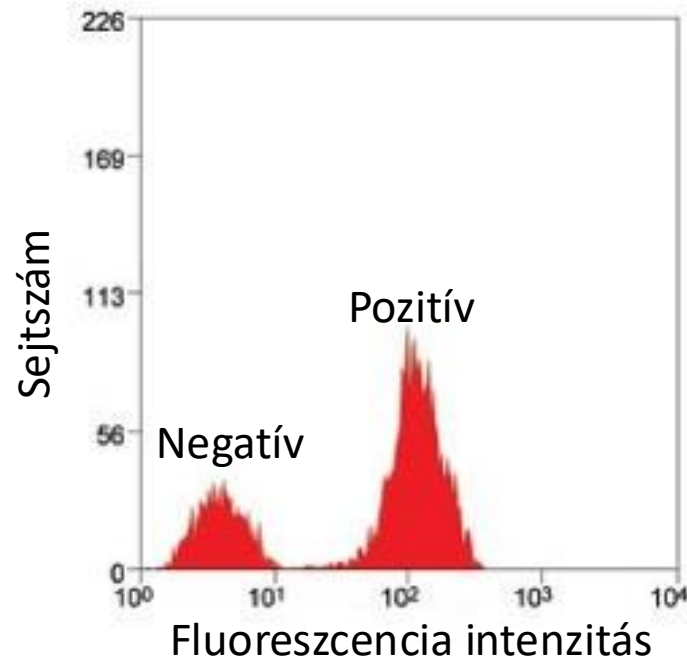
Ugyanabban a mintában ugyanazon lézer által gerjesztett és azonos színű fluorokrómok használata kerülendő, mert nem lesznek elkülöníthetőek a vizsgált antigének. (Gyakran használt kombináció: **FITC** + **PE** + **APC**)

Fluoreszcencia megjelenítése dot ploton



A vizsgálat **kvantitatív**, a mért fluoreszcencia intenzitások számban kifejezhetőek. (=A **pozitivitás mértéke** is meghatározható.)

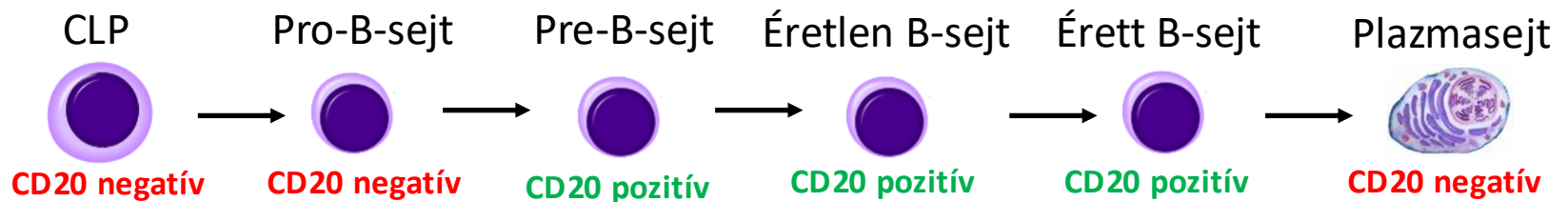
Példák egyéb megjelenítési formákra



Hagyományos hisztogram: A vízszintes tengelyen az adott detektorban mért fluoreszcencia intenzitás (=jelerősség), a függőleges tengelyen pedig a sejtek száma látható. A megadott példában elkülöníthető egy alacsony fluoreszcenciájú negatív és egy magasabb fluoreszcenciát adó pozitív sejtpopuláció.

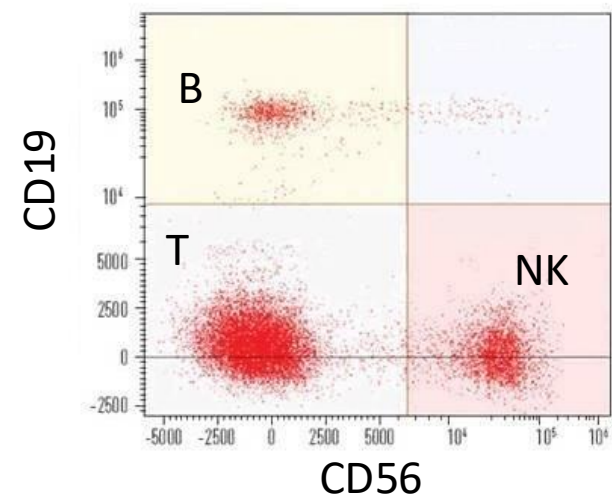
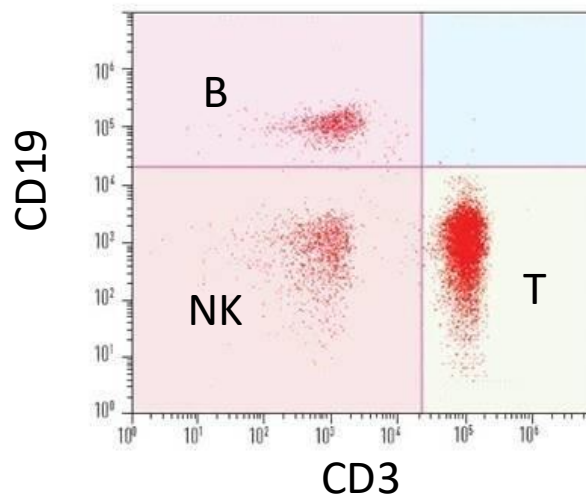
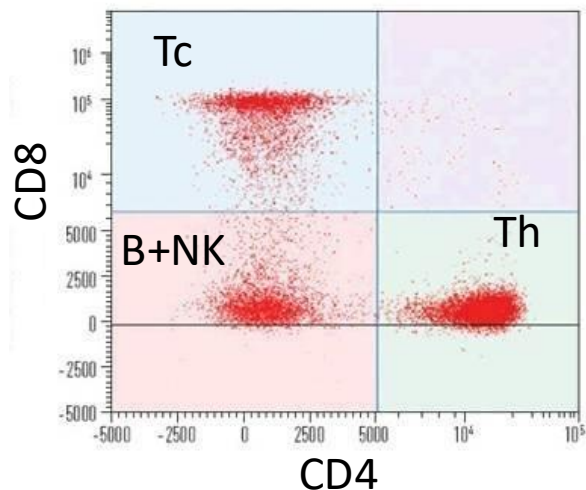
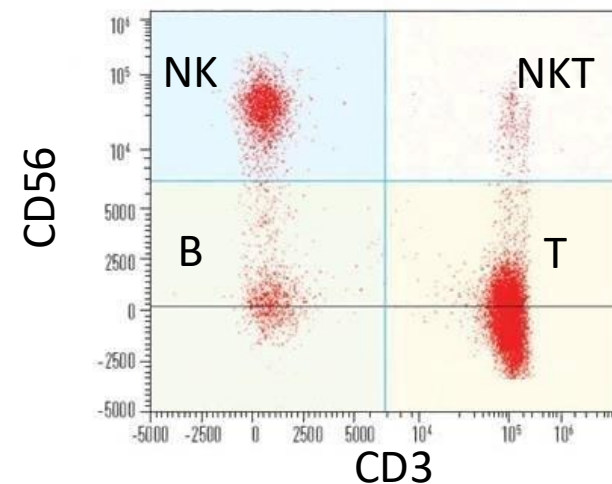
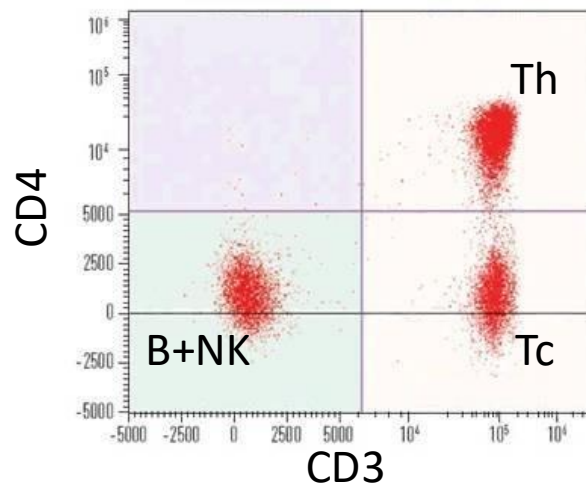
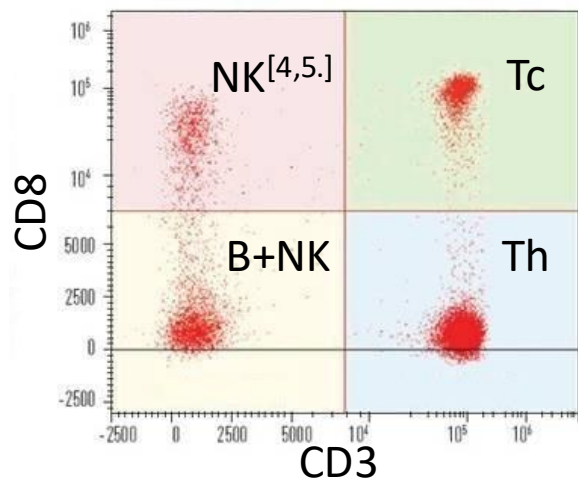
A CD markerek típusai

- **Sejtvonal markerek:** Kizárólag egy sejtvonalra jellemzőek, az adott vonal összes sejtjén jelen vannak, de más sejteken nem találhatók meg.
 - Pl.: CD3 → minden T-sejten CD19 → minden B-sejten
- **Érés markerek:** A sejterés eltérő fázisaiban különbözik az immunfenotípus, egyes molekulák csak a sejterés bizonyos fázisaiban vannak jelen, később eltűnnek, más molekulák csak az érett sejteken találhatók meg, stb.
 - Pl.: CD20 (B-sejt marker is egyben, más sejteken nem fordul elő)^[1.]



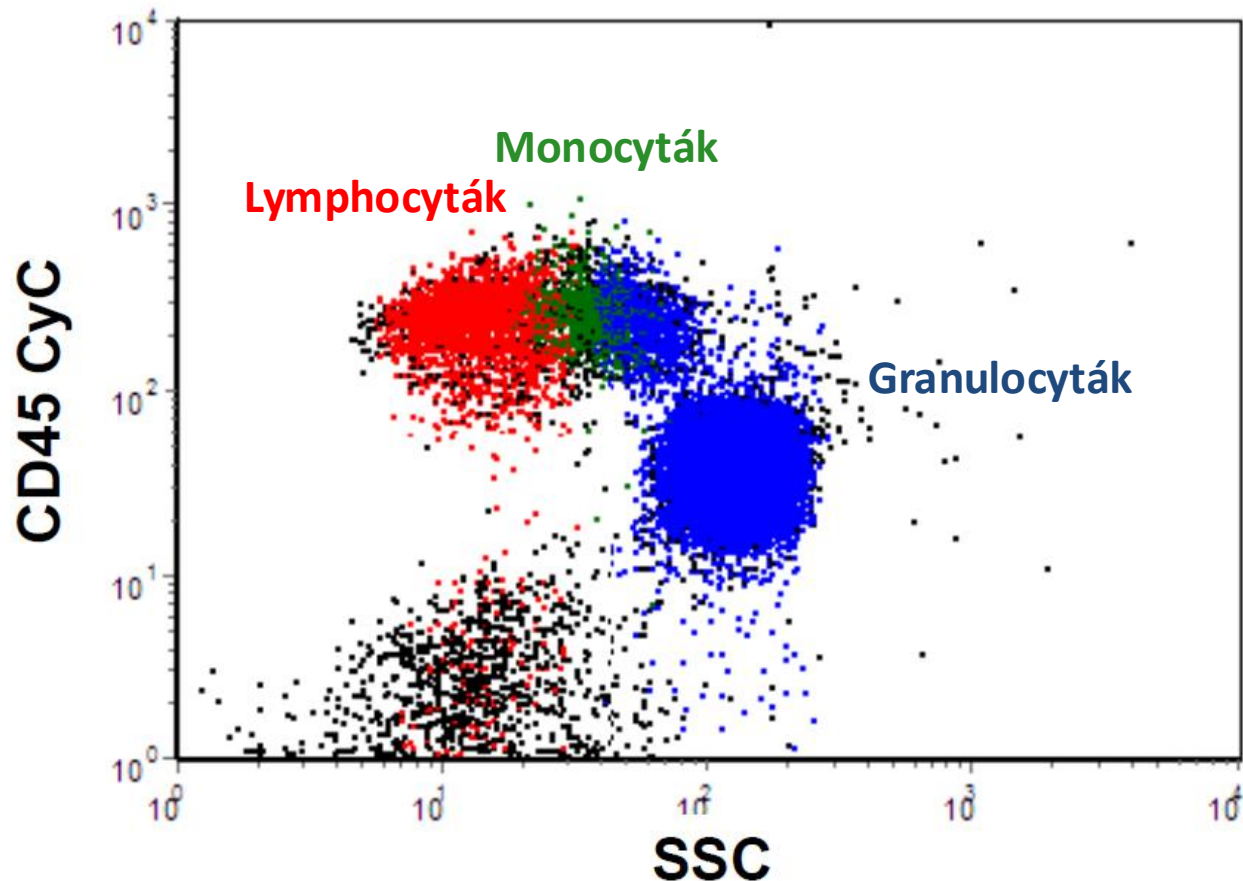
- **Aktivációs markerek:** Nyugvó sejteken nincsenek, vagy csak nagyon kis mennyiségben vannak jelen, de a sejttaktiváció hatására megjelennek, pl.:
 - CD25 (az interleukin-2 receptorának az alfa lánc, IL-2R α , lásd később)
 - CD80 és CD86 (B7-1 és B7-2, az antigén prezentáló sejteken található ún. kostimulációs molekulák, lásd később)

Normál humán vér lymphocyta alcsoportjai



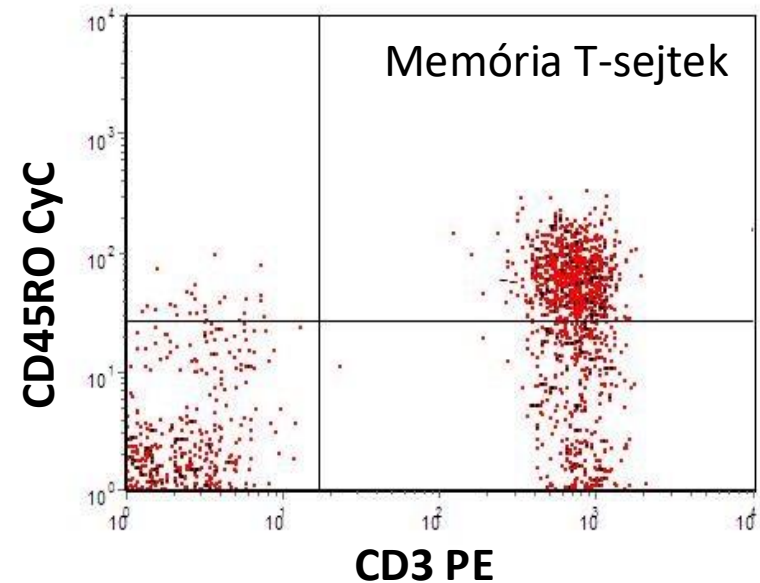
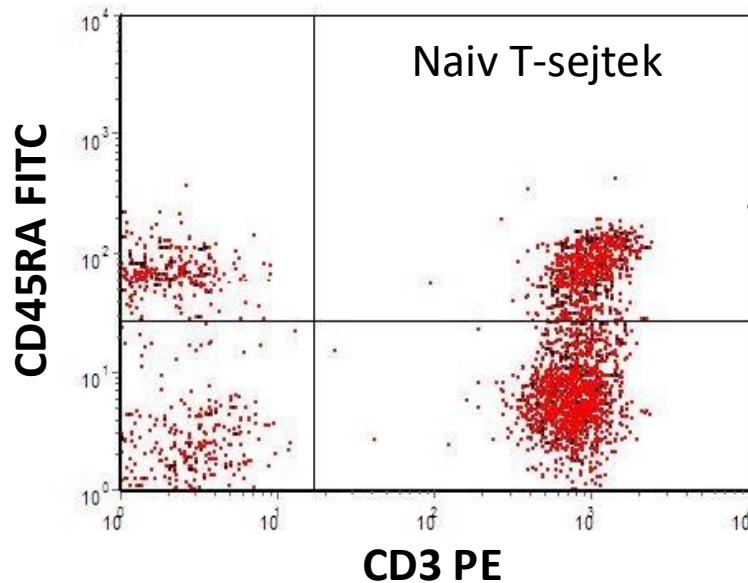
Emlékeztető: **CD3** → T-sejt, **CD4** → Th sejt, **CD8** → Tc sejt, **CD19** → B-sejt, **CD56** → NK-sejt

CD45 humán perifériás vérben



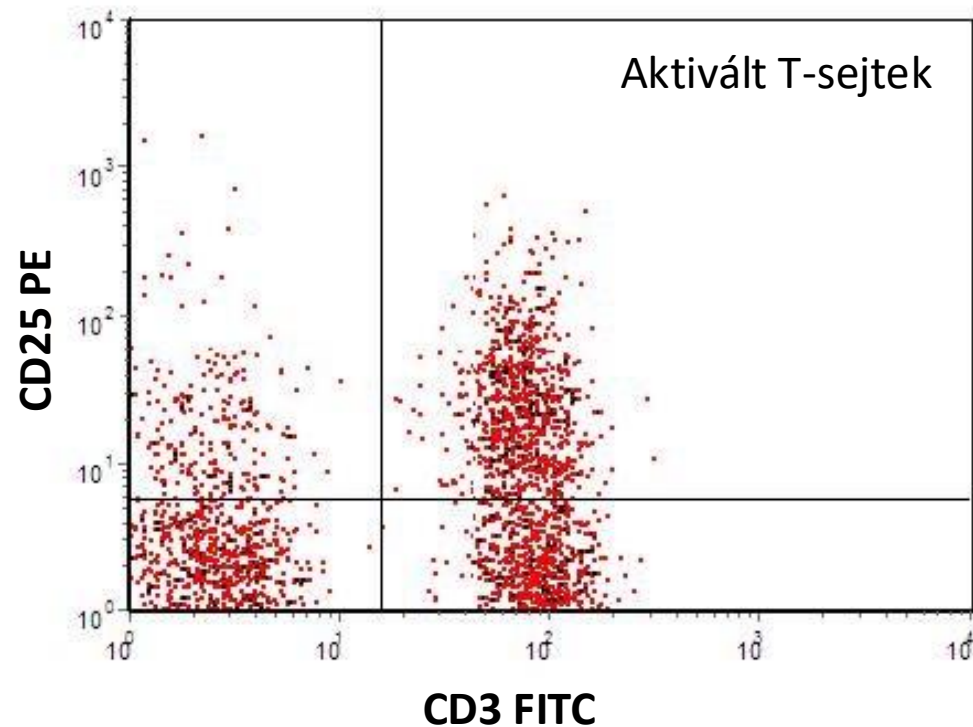
A **CD45** molekula **minden fehérvérsejten** megtalálható, ún. pan-leukocyta marker.

CD45RA és RO izoformák kimutatása humán vérben



CD45 funkciója: Sejtmembránba ágyazott **foszfatáz**, számos izoformája ismert, a **CD45RA** a naiv T-sejtekre, a **CD45RO** a memória T-sejtekre jellemző.^[6.] (részletesen lásd előadáson)

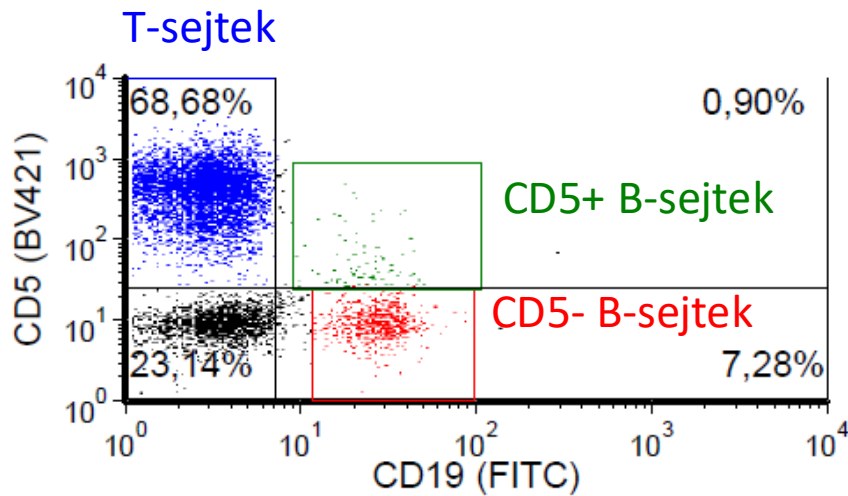
CD25 expresszió humán vér T-sejtjeiben



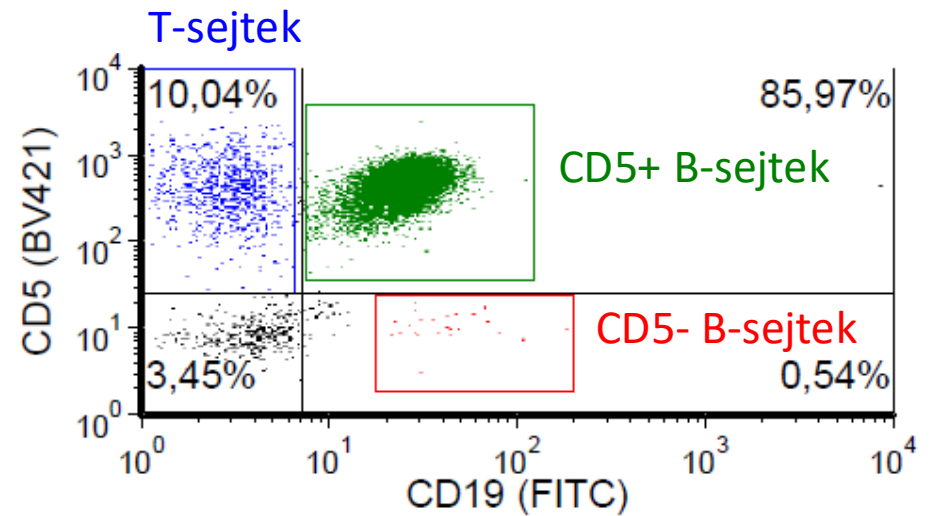
CD25: Az interleukin-2 receptorának alfa lánca (IL-2R α), mely aktivált lymphocytákon jelenik meg.^[7.] (részletesen lásd előadáson)

Humán CD5+ B-sejtek

Egészséges egyén perifériás vére:



B-sejtes chronicus lymphocytás leukaemia (B-CLL):



Az áramlási citometria jelentősége 1.

- Meghatározható a mintában található sejtek immunphenotípusa (**immunphenotipizálás**):
 - Malignus **hematológiai betegségek** diagnosztikája és differenciáldiagnosztikája^[8, 9.]
 - **Immunhiányos állapotok** diagnosztikája és differenciáldiagnosztikája^[10.]
 - **Autoimmun betegségek** követése
 - **Transzplantáció** előtti és utáni állapotok követése^[11.]
 - **HLA haplotípus** meghatározása^[12.] (lásd később)
 - **Fertőző betegségek** diagnosztikája és követése
- **Kvantitatív** mérési lehetőségek:
 - A vizsgált antigént hordozó **sejtek arányának** mérése
 - Az **antigén expressziójának** meghatározása a vizsgált sejtpopulációban
- **DNS és RNS tartalom mérése:**^[13.]
 - Apoptózis vizsgálata
 - Sejtciklus vizsgálata
 - Reticulocyták számának meghatározása
 - Aneuploidia kimutatása

Az áramlási citometria jelentősége 2.

- **Funkcionális tesztek:**
 - **Phagocytáló képesség vizsgálata**^[14.]
 - **Intracelluláris kalcium szint** mérése^[15.]
 - Intracelluláris pH meghatározása
 - Enzim mennyiség és aktivitás meghatározása
 - Chemotaxis vizsgálata
 - Reaktív oxigén szabadgyökök termelésének meghatározása
 - Proliferációs index mérése
- **Citokin szint mérés**^[16.] (CBA, lásd később a szerológiai teszteknel)
- **Sejtszeparálás**^[17.] (Sejt szortolás, lásd később)
- Hematológiai automaták → **vérkép** (fluoreszcens jelölés nélkül)

A következőkben láthattok pár **szemléltető diát** az áramlási citometria felhasználási területeiről. Az azokon szereplő anyagot természetesen **nem kérjük számon**, azonban a főbb **felhasználási területeit** ismerni kell és **tudnotok kell dot plotot elemezni!**

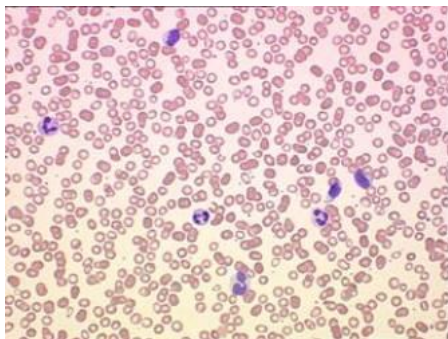
Példa immunphenotipizálásra 1.

A betegnél vérvétel során kórosan emelkedett lymphocytaszámot (lymphocytosis) találtak.

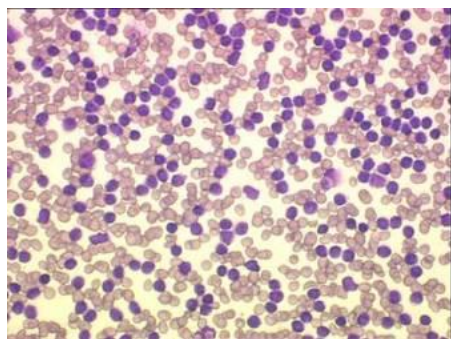


Áramlási citometria

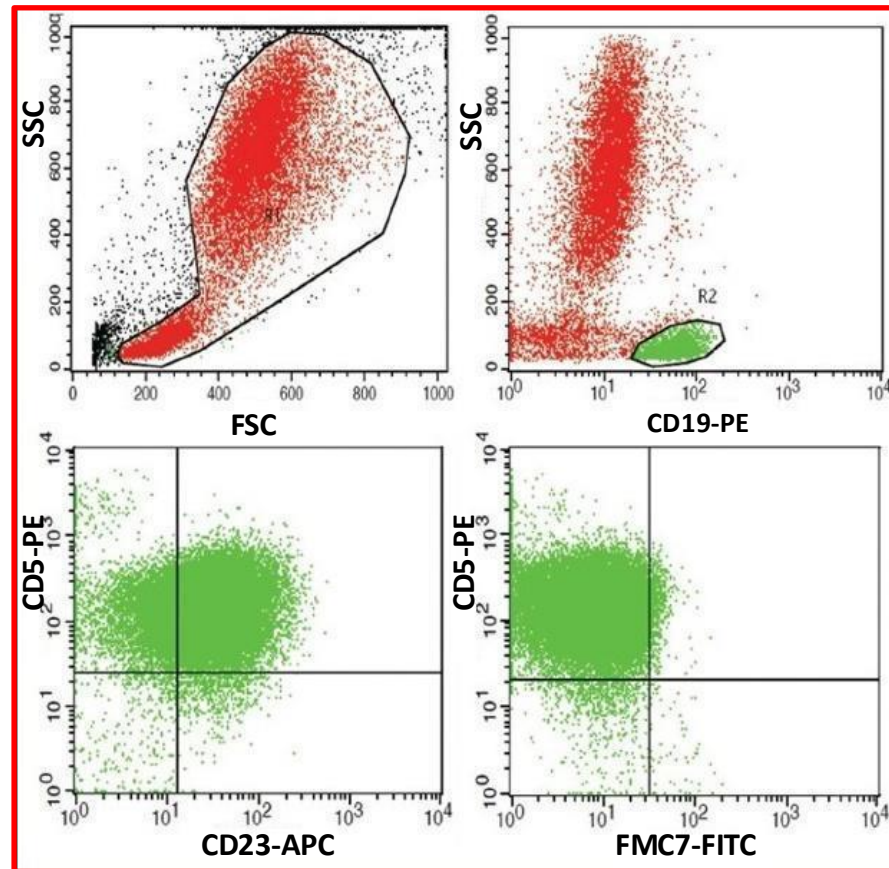
Kérdés: Milyen sejtek ezek?



Normál vérkenet



A beteg kenete

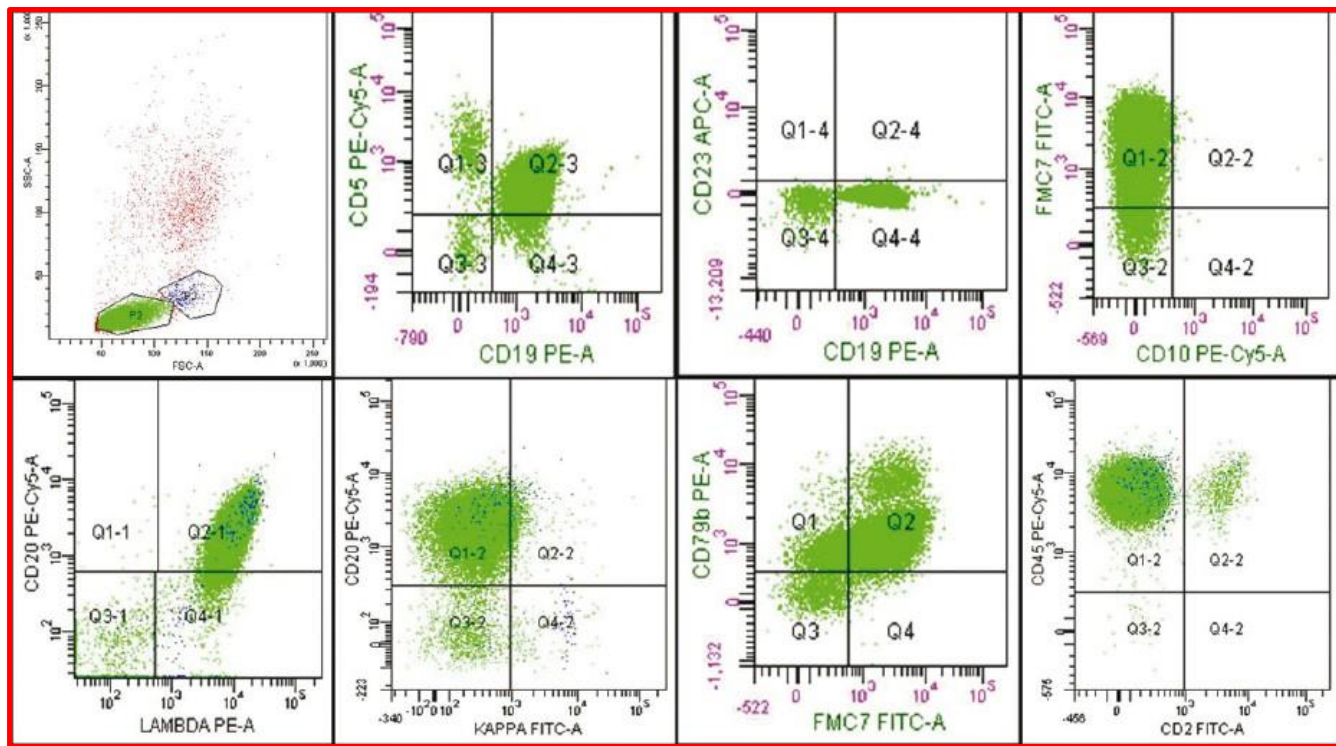


Kapott immunphenotípus:
CD5+/CD23+/CD19+/FMC7-

↓
Diagnózis: B-sejtes chronicus lymphocytás leukaemia
(B-CLL, B-cell chronic lymphocytic leukemia)

Példa immunphenotipizálásra 2.

Lymphocytosis és nyirokcsomó-megnagyobbodás (lymphadenomegalia) miatt vizsgálták a beteget.



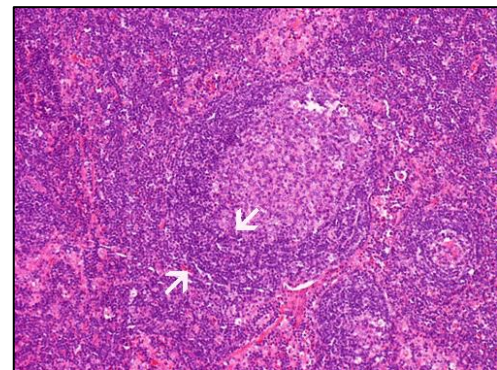
Kérdés: Milyen sejtek ezek?

Kapott immunphenotípus:

- **CD5+**
- **CD19+**
- CD20+
- CD45+
- CD79b+
- **FMC7+**
- Lambda+
- **CD10-**
- **CD23-**

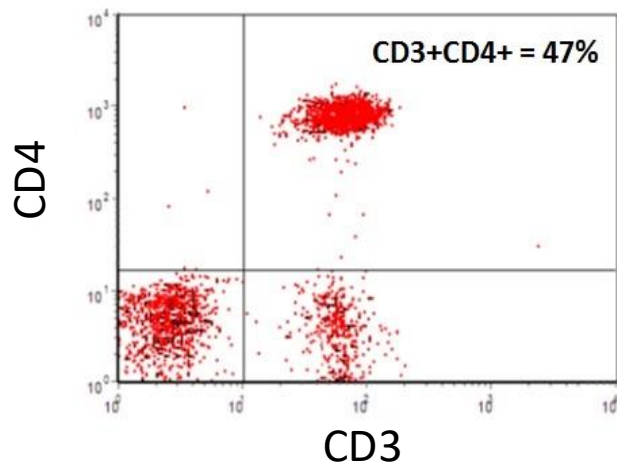
Diagnózis: Köpenysejtes lymphoma (MCL, Mantle cell lymphoma), leukaemiás vérképpel

Kiszélesedett köpenyzóna (mantle zone) egy nyiroktüsző körül MCL-ben. (fehér nyilakkal jelölve, H&E festés)



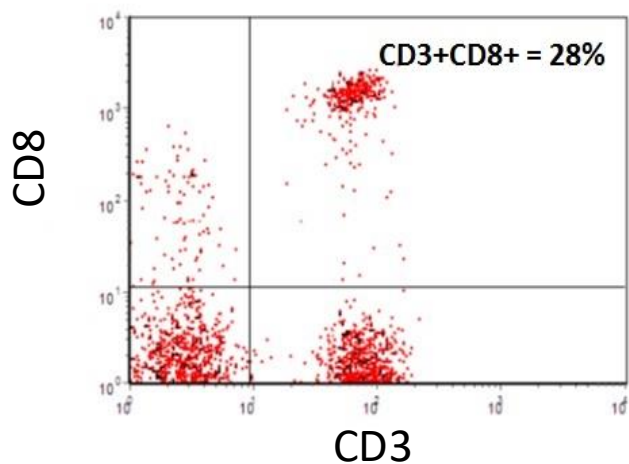
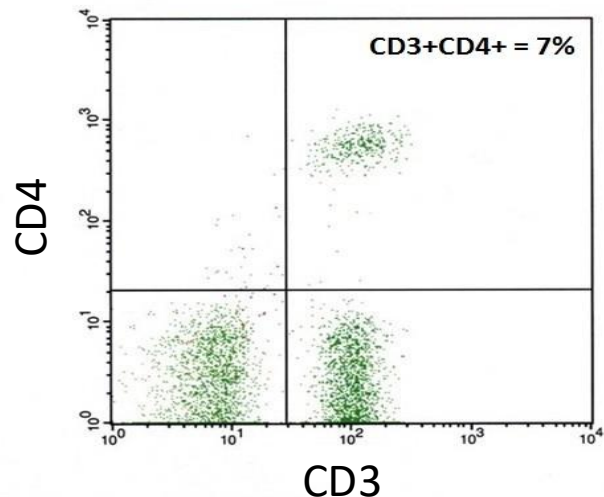
Példa immunhiány követésére

CD4/CD8 arány egy egészséges
egyén perifériás vérében:

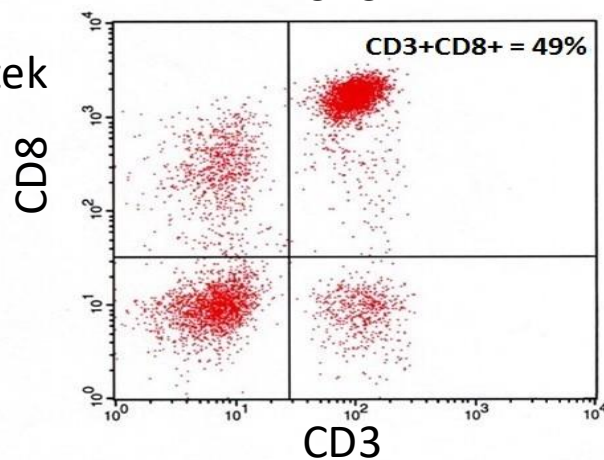


Helper T-sejtek

Kóros CD4/CD8 arány HIV
fertőzött betegben:

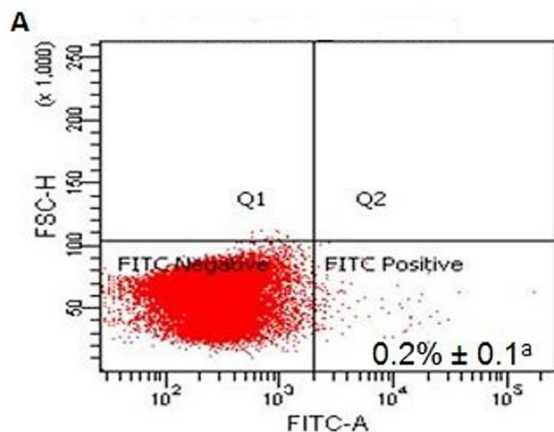


Cytotoxicus T-sejtek

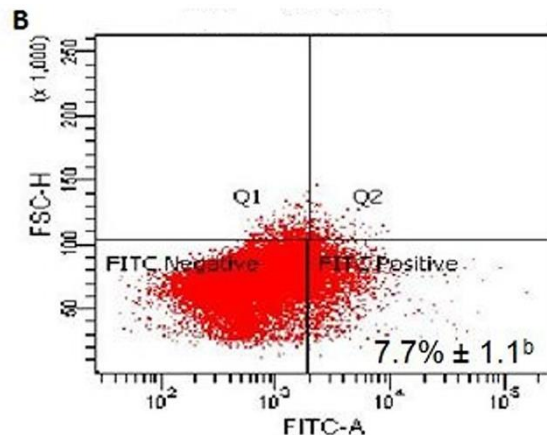


Példa phagocytosis vizsgálatára

A: Kezeletlen macrophagok FITC-el jelölt latex gyöngyök nélkül

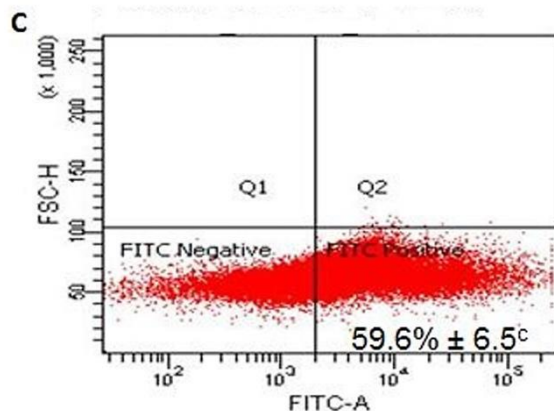


B: Kezeletlen macrophagok FITC-el jelölt latex gyöngyökkel inkubálva

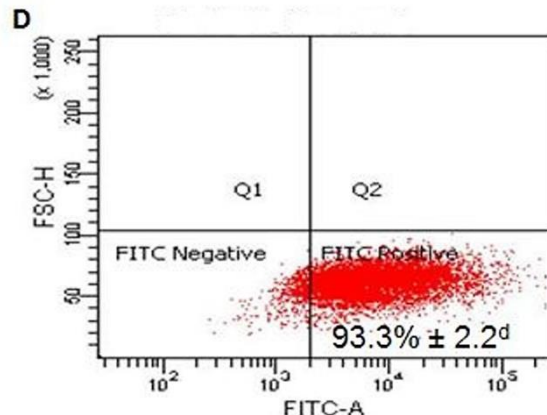


A kezelések hatására fokozódik a macrophagok phagocytáló képessége.

C: Növényi poliszachariddal kezelt macrophagok FITC-el jelölt latex gyöngyökkel inkubálva



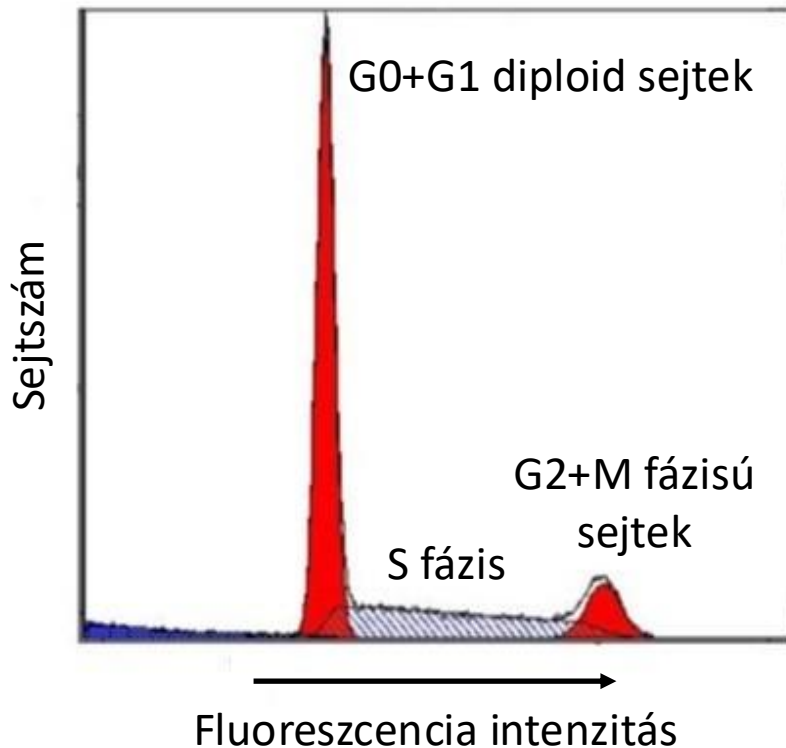
D: LPS-el kezelt macrophagok FITC-el jelölt latex gyöngyökkel inkubálva



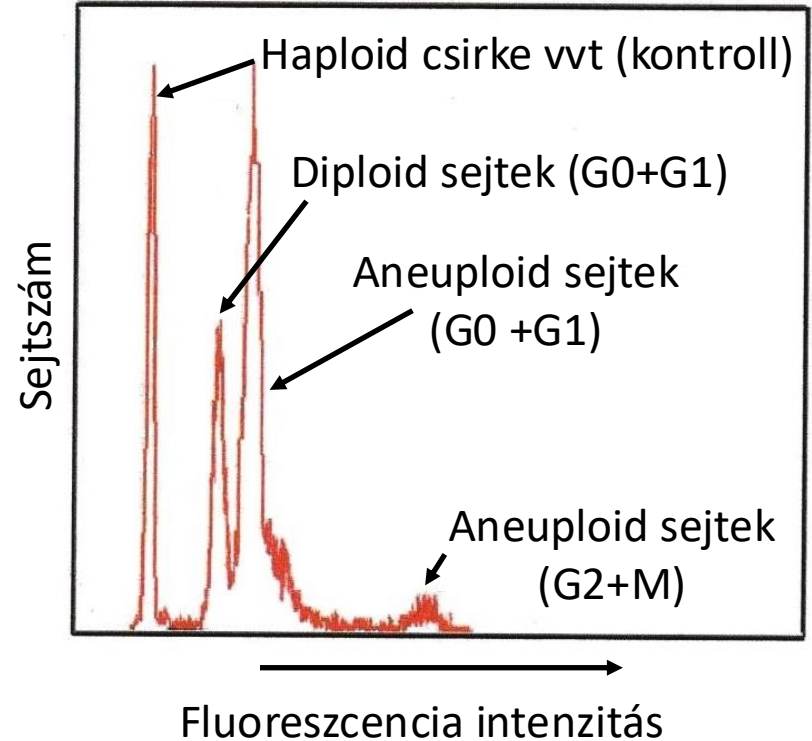
DNS tartalom vizsgálata tumorokban

DNS-t festő fluorokrómokkal kezelik a sejteket, majd megméri a fluoreszcencia intenzitást.

Normális állapot:



Májbiopszia hepatocellularis carcinomából:^[18.]



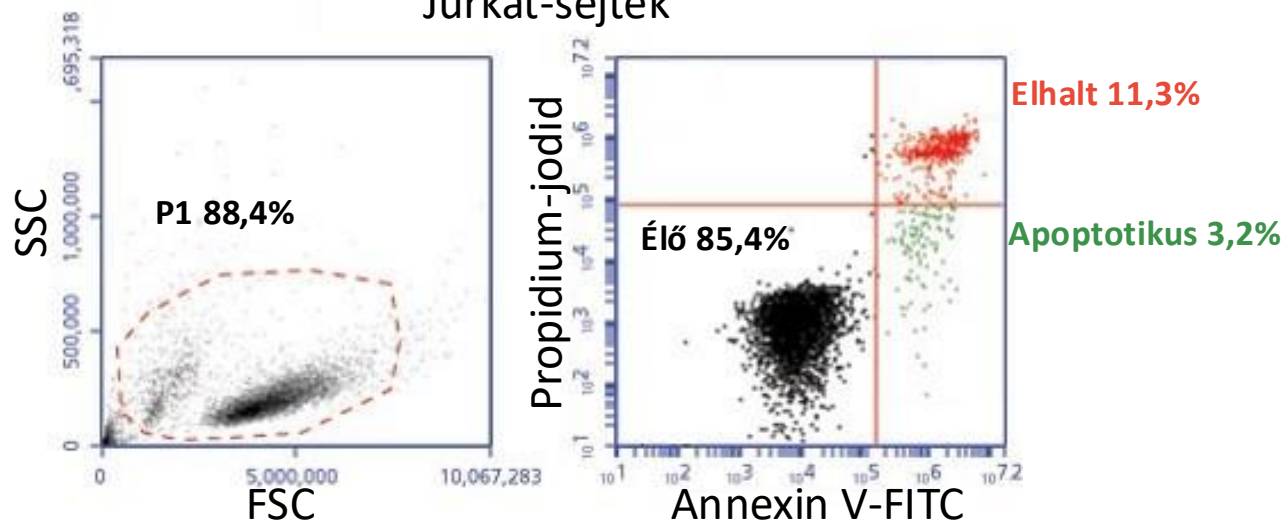
Aneuploidia: Abnormális kromoszómaszám (pl. 60 a 46 helyett G0 fázisú sejtekben)

Példa sejt életképesség vizsgálatára

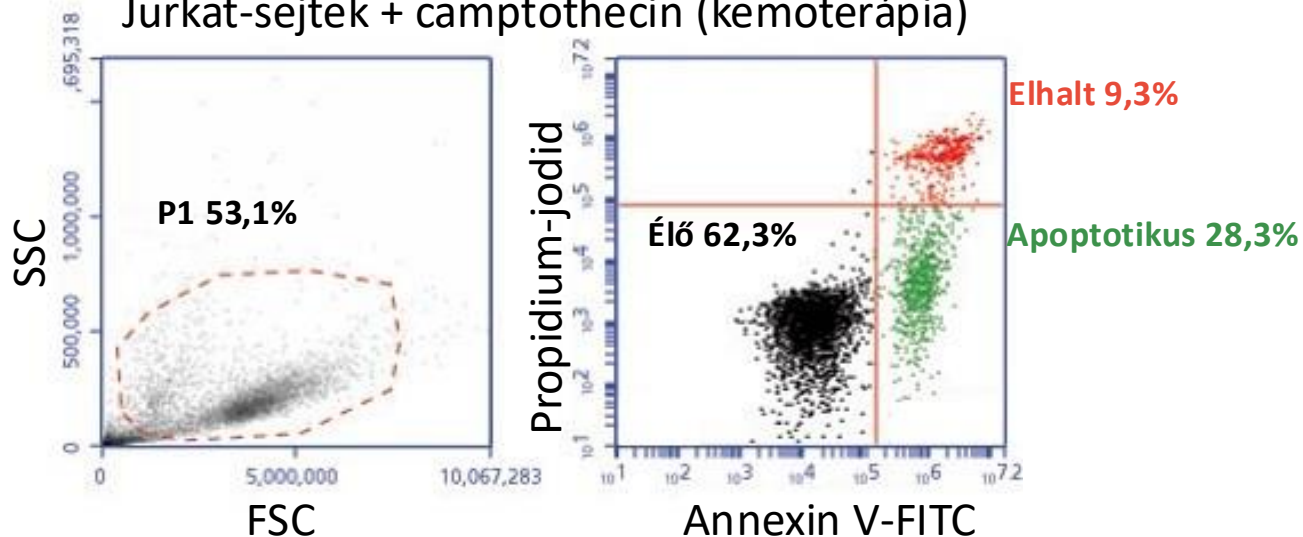
Propidium-jodid: DNS-t kötő fluoreszcens molekula, mely azonban az élő sejtek membránján nem jut át.

Annexin V: Az apoptotikus sejtek membránjában előforduló foszfatidil-szerinhez kötődik.

Jurkat-sejtek

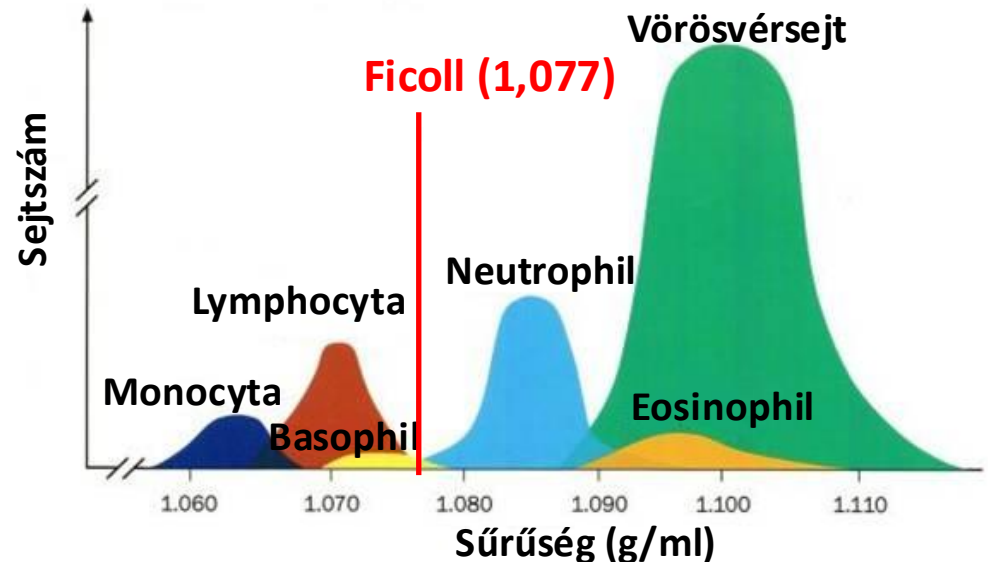


Jurkat-sejtek + camptothecin (kemoterápia)



Mononukleáris sejtek izolálása

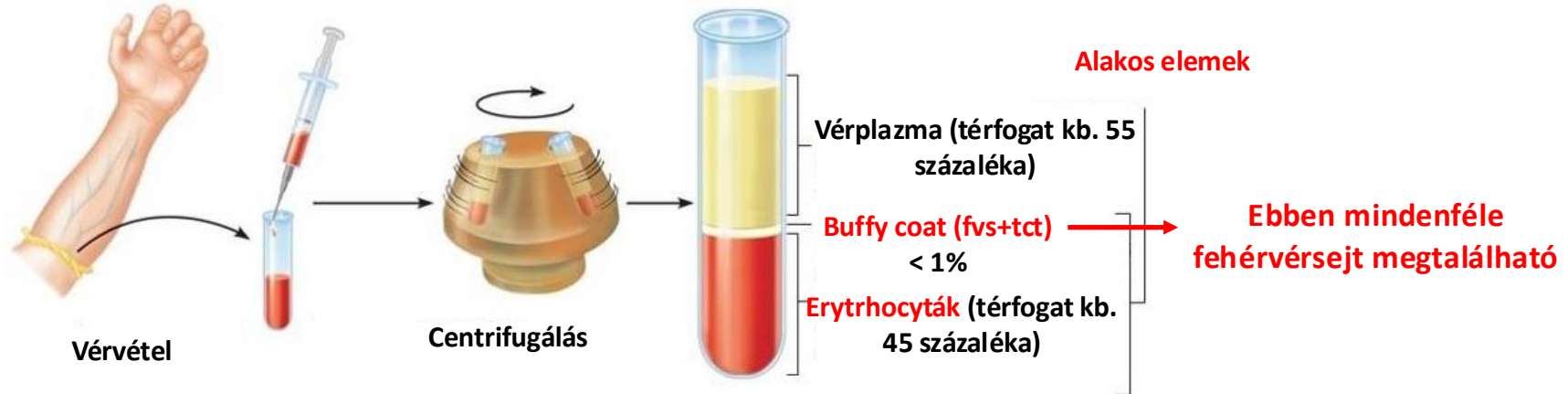
- **Fizikai paramétereken alapuló módszerek:**^[19.]
 - Filtráció (vérsjtek mérete alapján)
 - Grádiens centrifugálás (pl. **Ficoll-grádiens centrifugálás**, a vér alakos elemeinek sűrűsége alapján)



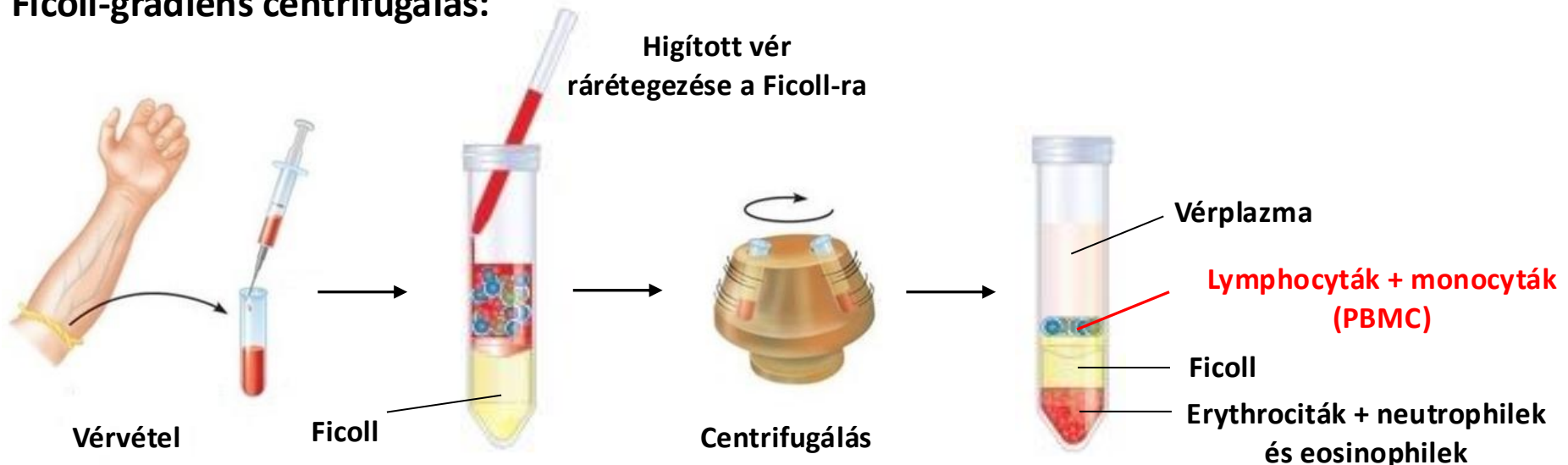
- **Adhéziós tulajdonságokon alapuló eljárások:**
 - Nylon vatta: monocyták és a B-sejtek kitapadnak
 - Műanyag/üvegfelszín: monocyták kitapadnak, lymphocyták eltávolíthatók

Ficoll-grádiens centrifugálás 1.

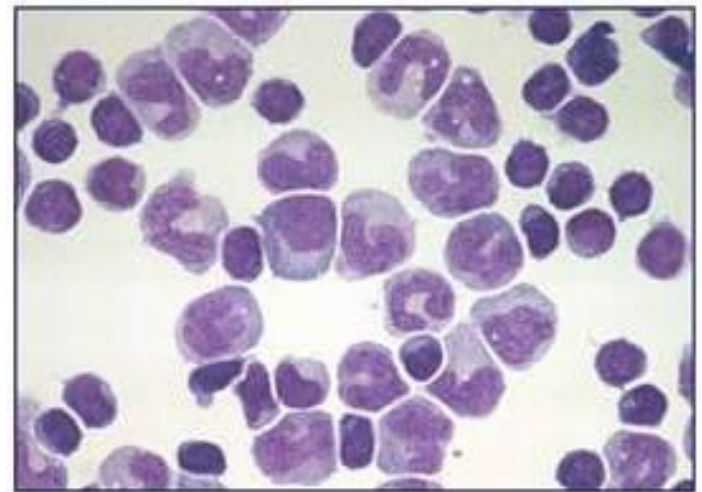
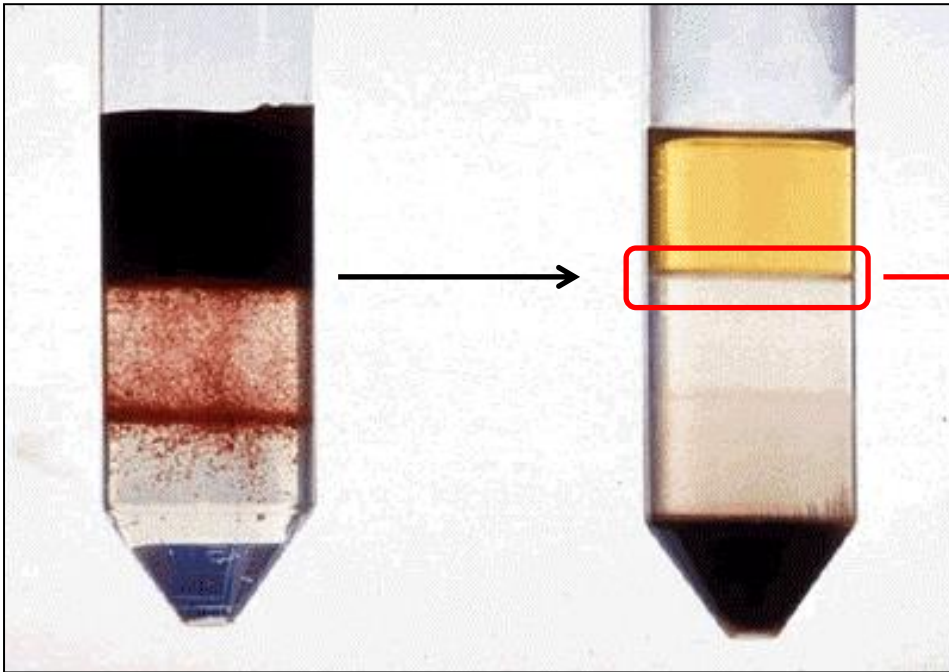
Közönséges centrifugálás:



Ficoll-grádiens centrifugálás:



Ficoll-grádiens centrifugálás 2.



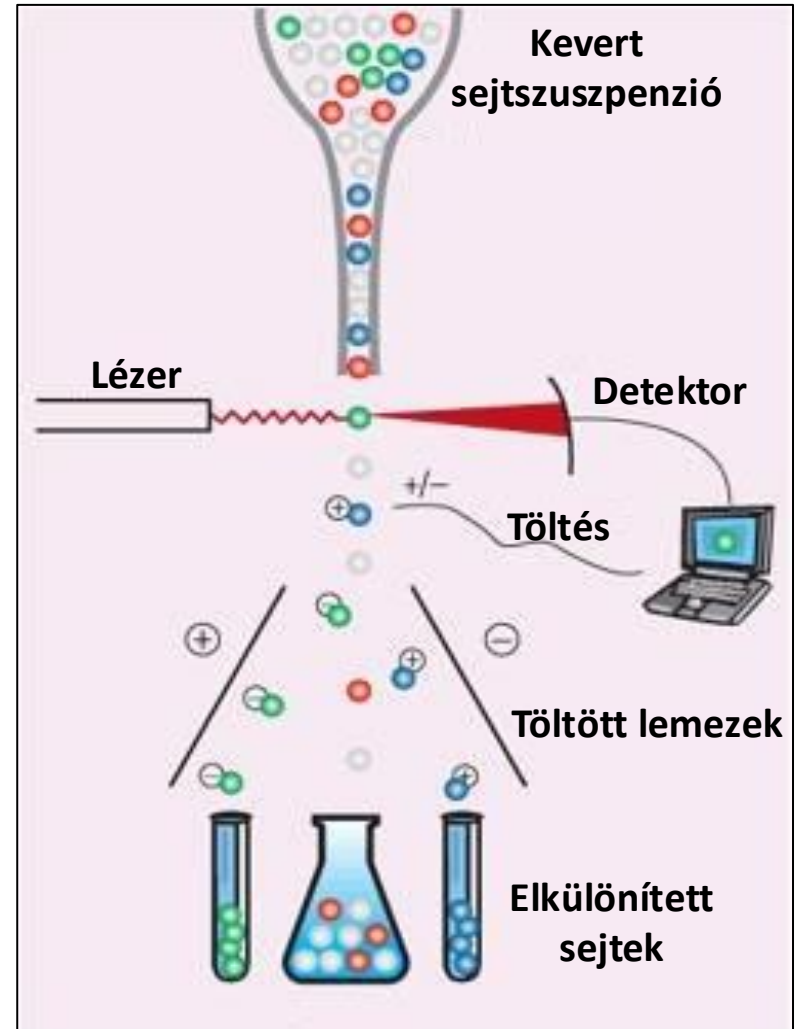
Perifériás vér mononukleáris sejtjei (**PBMC**, Peripheral blood mononuclear cells = nem-szegmentált magvú fehérvérsejtek): **Lymphocyták, monocyták** (és kis arányban basophil granulocyták)^[20.]

Szortolás

Szortolás: áramlási citometrián alapuló
sejtelválasztó technika

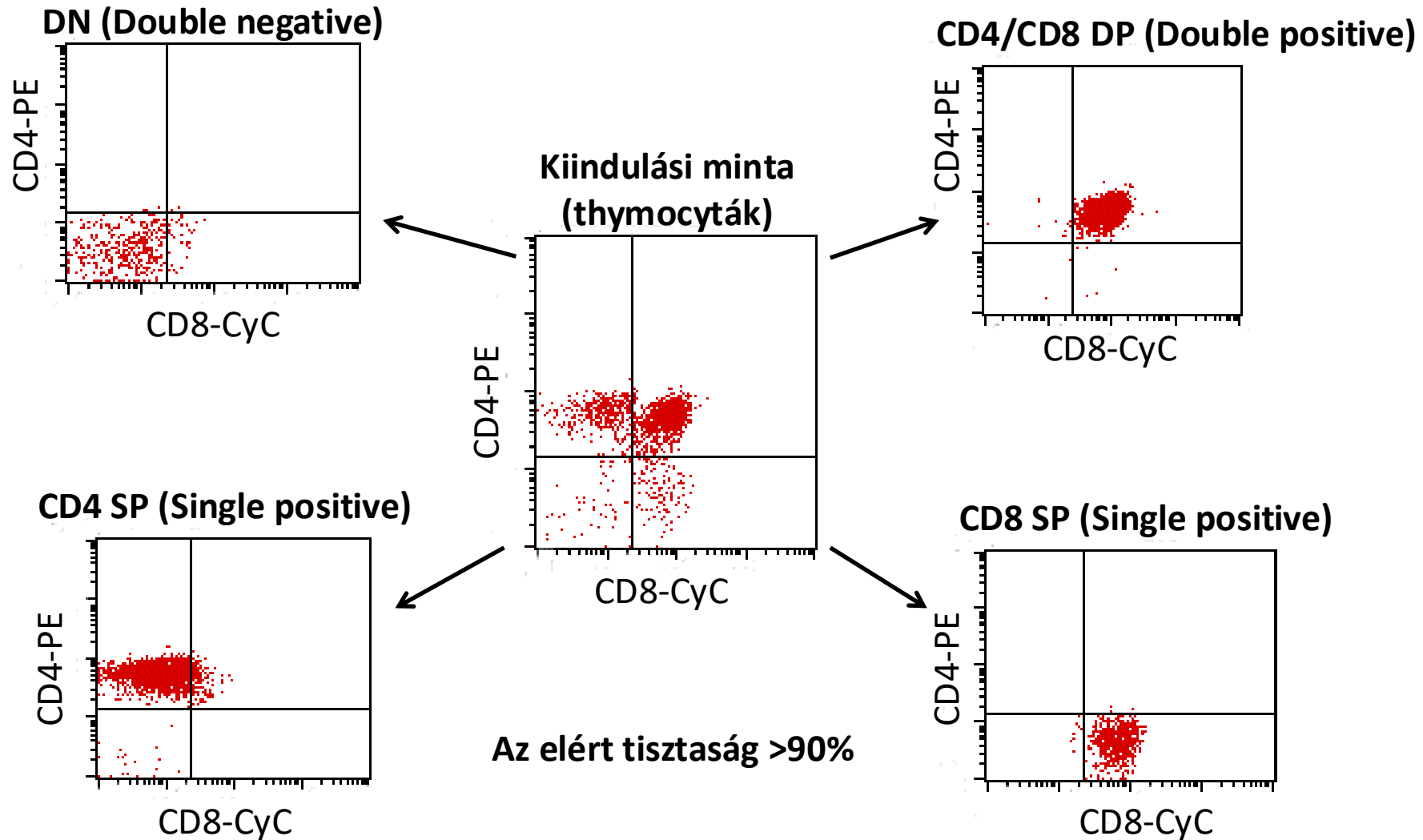
FACS: Fluoreszcencia-aktivált sejt szortálás
(Fluorescence activated cell sorting)

1. A sejtek egyesével egy-egy folyadékcseppbe kerülnek.
2. A fluoreszcensen jelölt sejt elhalad a lézer előtt, a szórt és az emittált fényt a detektorok mérik.
3. A cseppek a beállított paraméterektől függően elektromos töltést kapnak.
4. A cseppeket eltérítik a pozitív és negatív töltéssel bíró lemezek.
5. A sejteket tartalmazó eltérített cseppek külön csövekbe kerülnek.



Az elkülönített sejtek életképesek és felhasználhatók

Szortolás egér thymusból



Immunomágneses sejtszeparálás (MACS)

1. Antitest keverék



2. Mágneses gyöngy

3. Inkubáció



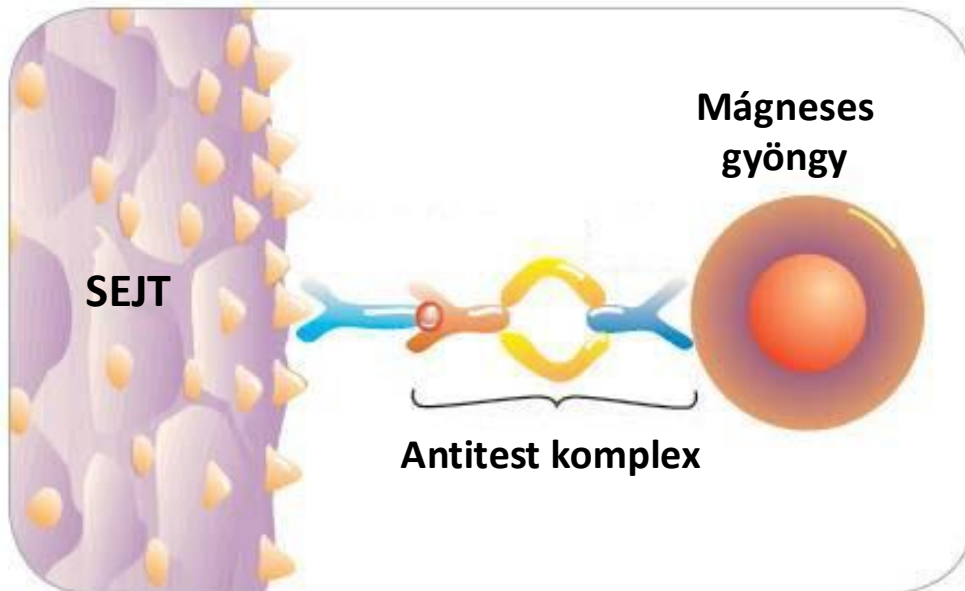
4. Mágneses szeparáció

5. Felülúszó leöntése



Pozitív szelekció: Csőhöz tapadt jelölt sejtek

Negatív szelekció: Felülúszóban lévő jelöletlen sejtek



A Stemcell Technologies™
EasySep™ mágnese.

Hivatkozások 1.

1. BD Biosciences: **BD FACSCanto II** (https://www.bdbiosciences.com/documents/facscanto_techsspecs.pdf)
2. McCoy JP Jr¹: **Basic principles of flow cytometry.** *Hematol Oncol Clin North Am.* 2002 Apr;16(2):229-43.
3. BD Biosciences: **BD FACSCalibur** (https://www.bdbiosciences.com/documents/facscalibur_brochure.pdf)
4. Addison EG¹, North J, Bakhsh I, Marden C, Haq S, Al-Sarraj S, Malayeri R, Wickremasinghe RG, Davies JK, Lowdell MW: **Ligation of CD8alpha on human natural killer cells prevents activation-induced apoptosis and enhances cytolytic activity.** *Immunology.* 2005 Nov;116(3):354-61.
5. Campbell JP¹, Guy K, Cosgrove C, Florida-James GD, Simpson RJ: **Total lymphocyte CD8 expression is not a reliable marker of cytotoxic T-cell populations in human peripheral blood following an acute bout of high-intensity exercise.** *Brain Behav Immun.* 2008 Mar;22(3):375-80. Epub 2007 Oct 18.
6. Altin JG¹, Sloan EK: **The role of CD45 and CD45-associated molecules in T cell activation.** *Immunol Cell Biol.* 1997 Oct;75(5):430-45.
7. Létourneau S¹, Krieg C, Pantaleo G, Boyman O: **IL-2- and CD25-dependent immunoregulatory mechanisms in the homeostasis of T-cell subsets.** *J Allergy Clin Immunol.* 2009 Apr;123(4):758-62. doi: 10.1016/j.jaci.2009.02.011.
8. Craig FE¹, Foon KA: **Flow cytometric immunophenotyping for hematologic neoplasms.** *Blood.* 2008 Apr 15;111(8):3941-67. doi: 10.1182/blood-2007-11-120535. Epub 2008 Jan 15.
9. Virgo PF¹, Gibbs GJ: **Flow cytometry in clinical pathology.** *Ann Clin Biochem.* 2012 Jan;49(Pt 1):17-28. doi: 10.1258/acb.2011.011128. Epub 2011 Oct 25.
10. O'Gorman MR¹, Zollett J, Bensen N: **Flow cytometry assays in primary immunodeficiency diseases.** *Methods Mol Biol.* 2011;699:317-35. doi: 10.1007/978-1-61737-950-5_15.

Hivatkozások 2.

11. Maguire O¹, Tario JD Jr, Shanahan TC, Wallace PK, Minderman H: **Flow cytometry and solid organ transplantation: a perfect match.** *Immunol Invest.* 2014;43(8):756-74. doi: 10.3109/08820139.2014.910022.
12. Bray RA¹, Tarsitani C, Gebel HM, Lee JH: **Clinical cytometry and progress in HLA antibody detection.** *Methods Cell Biol.* 2011;103:285-310. doi: 10.1016/B978-0-12-385493-3.00012-7.
13. Darzynkiewicz Z¹, Halicka HD, Zhao H: **Analysis of cellular DNA content by flow and laser scanning cytometry.** *Adv Exp Med Biol.* 2010;676:137-47.
14. Lehmann AK¹, Sornes S, Halstensen A: **Phagocytosis: measurement by flow cytometry.** *J Immunol Methods.* 2000 Sep 21;243(1-2):229-42.
15. June CH¹, Abe R, Rabinovitch PS: **Measurement of intracellular calcium ions by flow cytometry.** *Curr Protoc Cytom.* 2001 May;Chapter 9:Unit 9.8. doi: 10.1002/0471142956.cy0908s02.
16. Morgan E¹, et al.: **Cytometric bead array: a multiplexed assay platform with applications in various areas of biology.** *Clin Immunol.* 2004 Mar;110(3):252-66.
17. Tomlinson MJ¹, Tomlinson S, Yang XB, Kirkham J: **Cell separation: Terminology and practical considerations.** *J Tissue Eng.* 2013;4:2041731412472690. doi: 10.1177/2041731412472690. Epub 2012 Dec 28.
18. Ashraf Tabll¹ and Hisham Ismail^{2, 3}: **The Use of Flow Cytometric DNA Ploidy Analysis of Liver Biopsies in Liver Cirrhosis and Hepatocellular Carcinoma** (<http://www.intechopen.com/books/liver-biopsy/the-use-of-flow-cytometric-dna-ploidy-analysis-of-liver-biopsies-in-liver-cirrhosis-and-hepatocellul>)
19. Fuss IJ¹, Kanof ME, Smith PD, Zola H: **Isolation of whole mononuclear cells from peripheral blood and cord blood.** *Curr Protoc Immunol.* 2009 Apr;Chapter 7:Unit7.1. doi: 10.1002/0471142735.im0701s85.
20. Mitre E¹, Taylor RT, Kubofcik J, Nutman TB: **Parasite antigen-driven basophils are a major source of IL-4 in human filarial infections.** *J Immunol.* 2004 Feb 15;172(4):2439-45.