بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی و مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

با عنوان:

قطعه‌بندی گلبول‌های سفید خون بر اساس کانتورهای شکل پذیر

نویسنده:
محمد همقلم

استاد راهنما:
دکتر احمد آیت‌اللهی

در رشته:
مهندسی برق والکترونیک

آذر ۱۳۸۷

تقدیم به پدر خوبم و مادر مهربانم

باسمه تعالی

اینجانب **محمد همقلم** به شماره دانشجویی **۸۵۶۱۱۰۲۲** دانشجوی رشته برق-الکترونیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تایید می‌نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هر گونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هر گونه پاسخگویی به اشخاص، اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی)، به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسؤولیت در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

فهرست مطالب

فصل اول. مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه کار ۳

۱-۳ روش پیشنهاد شده برای قطعه‌بندی دقیق ۵

فصل دوم. آشنایی با سلول‌های خونی و رنگ‌آمیزی لکه خون محیطی

۲-۱ مقدمه فصل ۷

۲-۲ خون‌شناسی ۷

۲-۳ گلبول‌های سفید یا لوکوسیت ۷

۲-۴ گرانولوسیت‌ها ۸

۲-۴-۱ نوتروفیل‌ها ۸

۲-۴-۲ بازوفیل‌ها ۸

۲-۴-۳ ائوزینوفیل‌ها ۹

۲-۵ آگرانولوسیت‌ها ۹

۲-۵-۱ لنفوسیت‌ها ۱۰

۲-۵-۲ مونوسیت‌ها ۱۰

۲-۶ شمارش گلبول‌های خونی ۱۱

۲-۷ مطالعه گلبول‌های سفید خون روی یک گسترش خونی شخص طبیعی ۱۳

۲-۷-۱ رنگ‌آمیزی لکه خونی پخش شده روی لام ۱۴

فصل سوم. مکان‌یابی گلبول‌های سفید در تصویر رنگ‌آمیزی شده تحت استاندارد گیمسا

۳-۱ مقدمه ۱۷

۳-۲ انتخاب المان تصویری مناسب ۲۰

۳-۳ مشکلات ترشولدینگ و انتخاب نقطه مناسب ۲۲

۳-۴ پردازش بافت‌نگار ۲۳
۳-۵ شکل‌شناسی ۲۸
۳-۵-۱ گسترش و سایش ۲۹
۳-۵-۲ گسترش ۳۱
۳-۵-۳ سایش ۳۲
۳-۵-۴ بازکردن و بستن ۳۴
فصل چهارم. بررسی روش‌های مختلف بخش‌بندی و قطعه‌بندی هسته در تصاویر لکه خون محیطی
۴-۱ مقدمه ۴۴
۴-۲ آستانه‌گیری ۴۴
۴-۲-۱ آستانه‌گیری اتسو ۴۵
۴-۲-۲ آستانه‌گیری سراسری ۴۶
۴-۳ بخش‌بندی مبتنی بر لبه ۴۶
۴-۴ بخش‌بندی مبتنی بر ناحیه ۴۷
۴-۵ مشکلات تکنیک‌های بخش بندی تصاویر ۴۸
۴-۶ مدل‌های شکل‌پذیر ۴۹
۴-۷ مزایای کانتورهای فعال ۵۰
فصل پنجم. تئوری کانتورهای فعال و آماده‌سازی زیر تصویر جهت استخراج مرزهای سیتوپلاسم
۵-۱ مقدمه ۵۲
۵-۲ مفهوم مدل‌های کانتور فعال ۵۲
۵-۳ مینیمم‌سازی انرژی ۵۵
۵-۳-۱ محاسبات متغییر ۵۵
۵-۳-۲ برنامه ریزی پویا ۵۸
۵-۴ گرادیان یک تصویر ۶۱
۵-۵ شار بردار گرادیان ۶۱

۵-۶ پیاده سازی عددی ۶۳
۵-۷ مفهوم گرادیان برداری و گرادیان تصویر ۶۵
۵-۷-۱ گرادیان تصویر ۶۵
۵-۷-۲ گرادیان برداری ۶۶
۵-۸ آماده سازی تصویر جهت اعمال کانتورهای فعال ۶۹
۵-۹ مقایسه با روش‌های موجود در این زمینه ۷۱
فصل ششم. نتیجه گیری و پیشنهادات
۶-۱ نتیجه‌گیری ۷۶
۶-۲ پیشنهادات ۷۹
۶-۳ ویژگی‌های پیشنهادی که می‌تواند به منظور کلاسه‌بندی مورد استفاده قرار گیرد ۷۹
مراجع ۸۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ لکه خون محیطی تحت رنگ آمیزی گیمسا. ۳

شکل ۲-۱ نوتروفیل‌ها ۸

شکل ۲-۲ بازوفیل‌ها ۹

شکل ۲-۳ ائوزینوفیل‌ها ۹

شکل ۲-۴ لنفوسیت ۱۰

شکل ۲-۵ مونوسیت ۱۱

شکل ۲-۶ لکه خون محیطی رنگ‌آمیزی شده تحت استاندارد گیمسا ۱۴

شکل ۳-۱ یک نمونه تصویر از یک لکه خون محیطی ۱۷

شکل ۳-۲ المان قرمز رنگ لکه خون محیطی ۱۸

شکل ۳-۳ المان سبز رنگ لکه خون محیطی ۱۸

شکل ۳-۴ المان آبی رنگ لکه خون محیطی ۱۹

شکل ۳-۵ المان خاکستری لکه خون محیطی ۱۹

شکل ۳-۶ یک تصویر جدا شده از تصویر اصلی ۲۱

شکل ۳-۷ تصویر جدا شده شکل۳-۶ با سطح خاکستری مشخص درون هر پیکسل ۲۲

شکل ۳-۸ چند نمونه از هسیتوگرام‌های المان سبز رنگ خون محیطی ۲۴

شکل ۳-۹ تصاویر ترشولد شده به روش بیان شده ۲۶

شکل ۳-۱۰ سمت چپ تصویر یک نوتروفیل. سمت راست تصویر ترشولد شده آن ۲۷

شکل ۳-۱۱ (الف) مجموعه A (ب) مجموعه A که با x انتقال یافته است (پ) مجموعه B (ت) قرینه B. (ث) مجموعه A و متمم آن (ج) تفاضل دو مجموعه (که خط دار نشان داده می‌شود). در هر یک از چهار شکل نقطه بزرگ نشانه مبداء مجموعه است ۳۰

شکل ۳-۱۲ (الف) مجموعه اولیه A (ب) عنصر ساختمانی مربعی و قرینه آن (پ) گسترش A با B که سایه دار دیده می‌شود (ت) عنصر ساختمانی طویل (ث) گسترش A با این عنصر. ۳۳

شکل ۳-۱۳ (الف) مجموعه اولیه (ب) عنصر ساختمانی (پ) سایش که سایه دار دیده می‌شود (ت) عنصر ساختمانی طویل (ث) سایش با این عنصر. ۳۴
شکل ۳-۱۴ تصاویری از عملیات بازکردن و بستن ۳۷
شکل ۳-۱۵ خصوصیت انطباق عمل باز کردن. ۳۸
شکل ۳-۱۶ تعبیر هندسی عمل بستن. نقطه z که درون $(B)_x$ قرار دارد، به حاصل عمل بستن، $A \bullet B$ ، تعلق دارد اگر و تنها اگر $(B)_x \cap A \neq \Phi$ ۳۹
شکل ۳-۱۷ فیلتر کردن شکل شناسی: (الف) تصویر اولیه نویزدار (ب) حاصل سایش (پ) حاصل باز کردن (ت) نتیجه نهایی که حاصل بستن باز شده را نشان می‌دهد. ۴۰
شکل ۳-۱۸ هسته‌های گسترش یافته توسط المان ساختاری دیسکی شکل ۴۱
شکل ۴-۱ ترشولدینگ هسته به روش اتسو ۴۶
شکل ۴-۲ اعمال لبه‌یاب سوبل ۴۷
شکل ۵-۱ نقاط مار و وضعیت‌های مجاز بعدی ۵۹
شکل ۵-۲ یک تصویر نمونه به منظور بررسی گرادیان و گرادیان برداری ۶۶
شکل ۵-۳ گرادیان برداری پس از ۵ تکرار ۶۶
شکل ۵-۴ گرادیان برداری پس از ۲۵ تکرار ۶۷
شکل ۵-۵ گرادیان برداری پس از ۶۰ تکرار ۶۸
شکل ۵-۶ سمت راست تصویر اصلی و سمت چپ حذف هسته از تصویر ۶۹
شکل ۵-۷ درتصویر مشاهده می‌شود که لبه‌های بین هسته و سیتوپلاسم قوی‌تر می‌باشد ۷۰
شکل ۵-۸ کانتور اولیه که درون سلول قرار گرفته پس از ۳۰ تکرار به مرزهای سیتوپلاسم همگرا می‌شود. ۷۱
شکل ۵-۹ در تصویر لبه‌یابی شده مشاهده می‌شود که طول نویز با طول لبه تقریبا برابر است..... ۷۲
شکل ۵-۱۰ تصویر لبه‌یابی شده پس از حذف هسته..... ۷۲
شکل ۵-۱۱. نتایج بدست آمده پس از اعمال الگوریتم بیان شده بر روی گلبول‌های سفید..... ۷۴

شکل ۶-۱بلوک دیاگرام کلی کار..... ۷۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

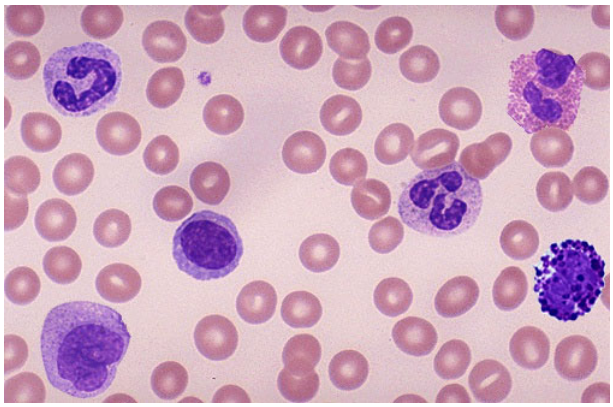
در یک لکه‌ی خون محیطی انواع مختلفی از سلول‌های خونی وجود دارد. دانستن تعداد انواع مختلف سلول‌ها در خون اطلاعات ارزشمندی را به منظور تشخیص بیماری‌ها در اختیار پزشکان قرار می‌دهد. پزشکان در زیر میکروسکوپ با توجه به اندازه سلول، شکل هسته، نسبت سیتوپلاسم به هسته، وجود و یا عدم وجود ریز دانه‌ها درون سیتوپلاسم، نوع گلبول سفید را تشخیص می‌دهند.

این کار با توجه به اینکه با چشمِ پزشک انجام می‌شود، کار خسته کننده‌ای می‌باشد. در این کار، به دنبال راه کارهایی به منظور خودکار سازی این فرایند، با استفاده از تصاویر دودویی بدست آمده از لکه‌ی خون محیطی هستیم.

در حال حاضر، شمارش گلبول‌ها توسط ابزاری به نام شمارش‌گر سلول[۱] انجام می‌شود. این دستگاه بر اساس تحلیل تصاویر لکه ی خونی کار نمی‌کند، بلکه با اندازه گیری میزان واکنش یک نمونه‌ی خونی به مواد شیمیایی مختلف تعداد آن‌ها را اندازه گیری می‌کند. این روش دارای خطای قابل قبولی بوده ولی هزینه دستگاه و ماده شیمیایی بسیار بالا می‌باشد. علاوه بر هزینه ی بالا، بایستی گفت که این دستگاه توانایی تحلیل ویژگی‌های یک سلول را ندارد، بلکه تنها کار شمارش را انجام می‌دهد. با توجه به اینکه در بیماری‌های خاص علاوه بر شمارش، به منظور تشخیص بیماری بایستی شکل یک گلبول مورد تحلیل قرار بگیرد، بنابراین تحلیل خودکار تصاویر دارای اهمیت می‌باشد. این کار در حال حاضر توسط چشمِ پزشک انجام می‌شود.

یک لکه‌ی خون محیطی به منظور داشتن یک تصویر واضح‌تر در زیر میکروسکوپ تحت رنگ‌آمیزی قرار می‌گیرد. یک رنگ‌آمیزی استاندارد که در ایران نیز انجام می‌شود، رنگ‌آمیزی گیمسا می‌باشد. یک لکه خون محیطی تحت رنگ آمیزی گیمسا در شکل ۱-۱ آورده شده است.

[۱] Cell Counter



شکل ۱-۱. لکه خون محیطی تحت رنگ‌آمیزی گیمسا.

این پروژه شامل سه گام اصلی می‌باشد. ابتدا محل گلبول‌های سفید در تصویر به درستی مشخص می‌شود. سپس مرزهای دقیق هسته و سیتوپلاسم گلبول‌های سفید مشخص می‌شود. در انتها ویژگی‌های گلبول‌های سفید(نسبت هسته به سیتوپلاسم، تشخیص وجود و یا عدم وجود رنگ دانه و...) از تصویر استخراج می‌شود.

با توجه به این موضوع که رنگ آمیزی لکه خون به شکل دستی انجام می‌شود، بنابراین موضوعات یکسان در تصاویر مختلف دارای سطوح روشنایی متفاوتی می‌باشند. پیدا کردن محل گلبول‌ها در تصویر، به دلیل وجود پلاکت‌های خونی که از نظر سطح روشنایی شبیه به گلبول‌های سفید می‌باشند و نیز دستی بودن رنگ‌آمیزی ، کار ساده‌ای نمی‌باشد. همچنین چند تکه‌ای بودن هسته نیز مشکلاتی در قطعه‌بندی به وجود می‌آورد. یافتن مرزهای دقیق گلبول‌ها نیز به علت همپوشانی‌های موجود بین گلبول‌های سفید و قرمز کار ساده‌ای نمی‌باشد.

اصلی‌ترین قسمت این پروژه یافتن روشی مناسب به منظور شمارش و قطعه‌بندی صحیح گلبول‌های سفید به منظور استخراج ویژگیهای گلبول سفید در تصویر می‌باشد.

۱-۲ تاریخچه کار

الگوریتم‌های قطعه‌بندی مختلفی وجود دارد. هر یک از این الگوریتم‌ها در تصاویر خاصی کاربرد دارند و تنها در آن تصاویر می‌توانند منجر به قطعه‌بندی صحیحی شوند[۴]-[۳]-[۲]-[۱].

در واقع این روش‌ها تغییرات موجود در رنگ‌آمیزی تصاویر را در نظر نگرفته‌اند. بسیاری از این روش‌ها تنها به استخراج مرزهای سیتوپلاسم در یک زیر تصویر که تنها شامل یک گلبول تنها می‌باشد، پرداخته‌اند [۵]. از کارهای انجام شده در زمینه قطعه‌بندی تصاویر خون، می‌توان کاری که توسط داینا وو[۲] انجام شده را نام برد[۶]. این روش با توجه به جهت لبه‌ها انجام می‌شود. با توجه به اینکه لبه‌یاب‌های موجود مانند سوبل[۳] و پرویت[۴] ، تفاوتی بین اطلاعات فرکانس بالای تصویر قائل نمی‌شوند و هر دو را در تصویر آشکار می‌کنند، در این روش با محاسبه‌ی جهت لبه توسط اپراتور گرادیان و کوانتیزه کردن آن‌ها، بدین شکل که به هر پیکسل لبه یک جهت نسبت می‌دهند (۰-۴۵-۹۰-۱۳۵)، و با توجه به دایروی بودن اشکال در تصویر، تنها لبه‌هایی که در یک دنباله‌ی ساعتگرد و یا پادساعتگرد قرار می‌گیرند، به عنوان پیکسل‌های لبه در نظر گرفته می‌شود. این روش در تصاویری که ناپیوستگی در مرزها وجود نداشته باشد، جوابگو می‌باشد و در مواردی که ناپیوستگی‌های تصویر زیاد باشد نمی‌تواند قطعه‌بندی صحیحی انجام دهد.

الگوریتم دیگری که توسط ویکسینگ ونگ[۵] [۷] انجام شده است، بر مبنای الگوریتم واترشد می‌باشد. در این روش یک تصویر همانند یک سطح توپوگرافی در نظر گرفته می‌شود و سطوح خاکستری نشانگر میزان ارتفاع در تصویر می‌باشد. ابتدا مینیمم‌های محلی در تصویر را به عنوان مناطق واترشد در نظر می‌گیرند. سپس شیب هر پیکسل را نسبت به آن نقطه حساب می‌کنند. این روش سرعت بالایی را در قطعه‌بندی دارد ولی به نویز بسیار حساس می‌باشد.

روش بعدی بر اساس اپراتورهای مورفولوژی می‌باشد. این روش در کارهای زیادی دیده شده است -[۹] [۸]. در این روش با اعمال اپراتور باز شونده مورفولوژی با افزایش سایز المان ساختاری می‌توان بدون اندازه گیری هر موضوع در تصویر به چگونگی توزیع سایز در تصویر پی برد. با توجه به سایز و المان‌های ساختاری مناسب، می‌توان بخش‌بندی مناسبی انجام داد. این روش سرعت پردازشی بالایی دارد و به نویز تصویر نیز حساسیت کمتری دارد. ولی با توجه با خطای اپراتورهای مورفولوژی، به عنوان ابزاری برای شمارش گلبول‌ها می‌تواند مفید واقع شود ولی در بدست آوردن مرزهای دقیق گلبول‌ها و ویژگی‌های آن‌ها نمی‌توانند مفید

[۲] Daina Wu
[۳] Sobel
[۴] perwitt
[۵] Weix-Wang

واقع شوند. روش‌ها دیگری نیز ارائه شده‌اند که به دنبال شمارش سلول‌های آسیب دیده (قرمز یا سفید) در خون می‌باشند[۱۰]-[۱۱].

۱-۳ روش پیشنهاد شده برای قطعه‌بندی دقیق

در این پروژه ابتدا به شناخت تصاویر و چگونگی بدست آوردن آن می‌پردازیم. همانطور که می‌دانیم شناخت صحیح از تصویر و موضوعات مورد تحلیل، دارای اهمیت می‌باشد.

در فصل دوم به معرفی انواع سلول‌های خونی سفید و نحوه‌ی رنگ‌آمیزی آن در یک تصویر میکروسکوپیک می‌پردازیم. در فصل سوم روشی مناسب برای یافتن محل گلبول‌های سفید و شمارش آن‌ها را بیان می‌کنیم. چگونگی انتخاب المان رنگی مناسب جهت تحلیل را بیان کرده، سپس بر مبنای هیستوگرام تصویر، یک روش جدید برای انتخاب نقطه مناسب جهت آستانه‌گیری معرفی می‌کنیم. با این نقطه‌ی آستانه و استفاده از اپراتورهای مورفولوژی و محاسبه‌ی فاصله‌ی هر یک از المان‌های آشکار شده در تصویر از یکدیگر می‌توانیم به یک مکان یابی صحیح از گلبول‌های سفید در تصویر برسیم. در انتهای این فصل یک تصویر بریده شده از گلبول سفید را در اختیار داریم. از این تصویر برای یافتن مرزهای دقیق سیتوپلاسم و هسته استفاده می‌کنیم. در فصل چهارم روش‌های مختلف قطعه‌بندی را مورد بررسی قرار داده و دلایل انتخاب کانتورهای فعال را برای این کار ذکر می‌کنیم.

در فصل پنج، تئوری کانتورهای فعال و روش‌های می‌نیمم‌سازی معادله انرژی، همچنین تفاوت‌های گرادیان تصویر و گرادیان برداری را در تصویر مورد بررسی قرار داده‌ایم. در انتها از گرادیان برداری تصویر به عنوان ابزاری مناسب در این کار استفاده می‌کنیم، و نتایج عملی بدست آمده را بررسی می‌کنیم. فصل شش به نتیجه‌گیری و پیشنهادات اختصاص یافته است.

فصل دوم

آشنایی با سلول های خونی و رنگ آمیزی لکه خون محیطی

۲-۱ مقدمه فصل

با توجه به این که قطعه‌بندی صحیح یک تصویر احتیاج به شناخت کامل موضوعات تصویر دارد، بنابراین در این فصل به معرفی انواع سلول‌های خونی سفید می‌پردازیم. سپس به شکل مختصر رفتار این سلول‌ها در مقابل عوامل بیماری زا را بررسی نموده و در انتها چگونگی رنگ‌آمیزی یک لکه خون محیطی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۲ خون‌شناسی

خون یک بافت پیوندی است که ماده بین سلولی آن پلاسما نامیده می‌شود. خون از مغز استخوان منشاء می‌گیرد. مهمترین اجزاء تشکیل دهنده خون عبارتند از

۱- گلبول‌های قرمز[۱]

۲– گلبول‌های سفید [۲]

۳– پلاکت‌ها[۳]

۴- پلاسما

۲-۳ گلبول‌های سفید یا لوکوسیت [۴]

گلبول‌های سفید کار دفاع در برابر میکروب‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها وانگل‌ها را عهده دارند. گلبول‌های سفید به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند.

۱-گرانولوسیت‌ها

۲- آگرانولوسیت‌ها

مبنای این تقسیم‌بندی بر اساس وجود یا عدم وجود دانه (گرانول) در سیتوپلاسم گلبول‌های سفید استوار است.

---

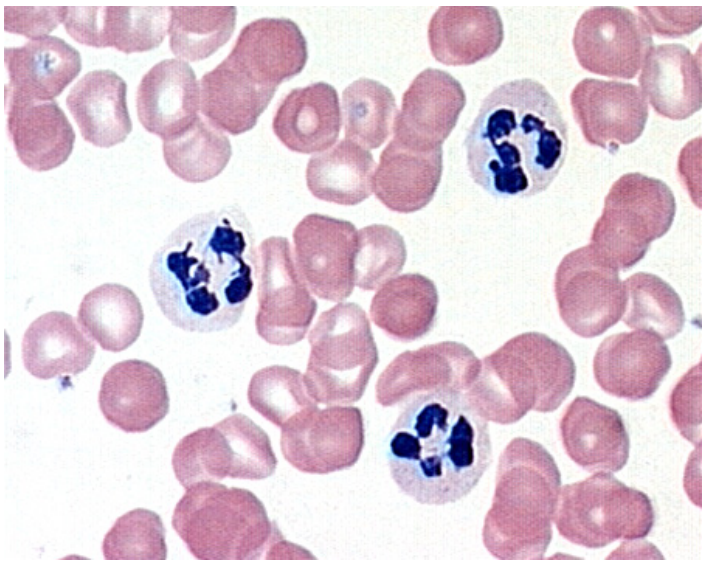
[۱] Red Cells
[۲] White Cells
[۳] Platelets
[۴] Leukocytes

۲-۴ گرانولوسیت‌ها

هسته چند قسمتی و سیتوپلاسم آن‌ها دانه‌دار است و ۷۰ درصد از گلبول‌های سفید خون را تشکیل می‌دهند. این گلبول‌ها خاصیت بیگانه‌خواری دارند و به هنگام گردش در خون، باکتری‌ها و سایر مواد خارجی را با ایجاد پاهای کاذب و عمل فاگوسیتوز به درون خود می‌کشند و آنها را هضم می‌کنند و از بین می‌برند. این گلبول‌ها همچنین می‌توانند از میان سلول‌های پوششی جدار مویرگ‌ها عبور کرده و وارد فضای بین سلولی شوند. گرانولوسیت‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند.

۲-۴-۱ نوتروفیل‌ها

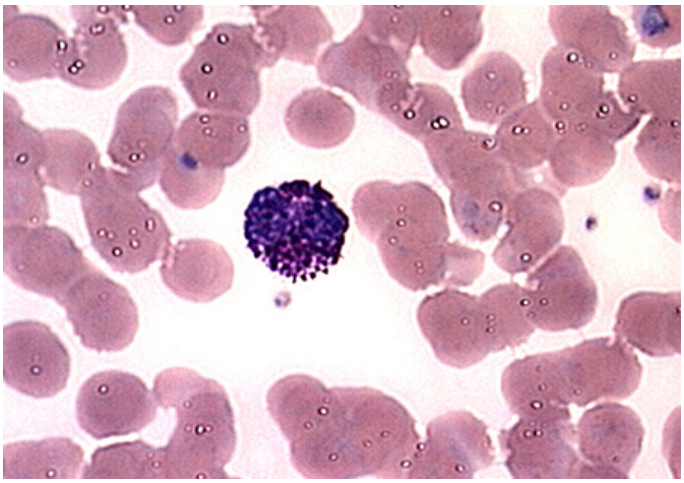
سلول‌های کروی، هسته دارای دو یا چهار لب پیوسته به هم توسط رشته‌های باریک است. ۱۵ – ۱۲ میکرومتر قطر دارند. و کار فاگوسیتوز (ریزه خواری) جانداران میکروسکوپی را انجام می‌دهند.



شکل ۲-۱. نوتروفیل‌ها

۲-۴-۲ بازوفیل‌ها

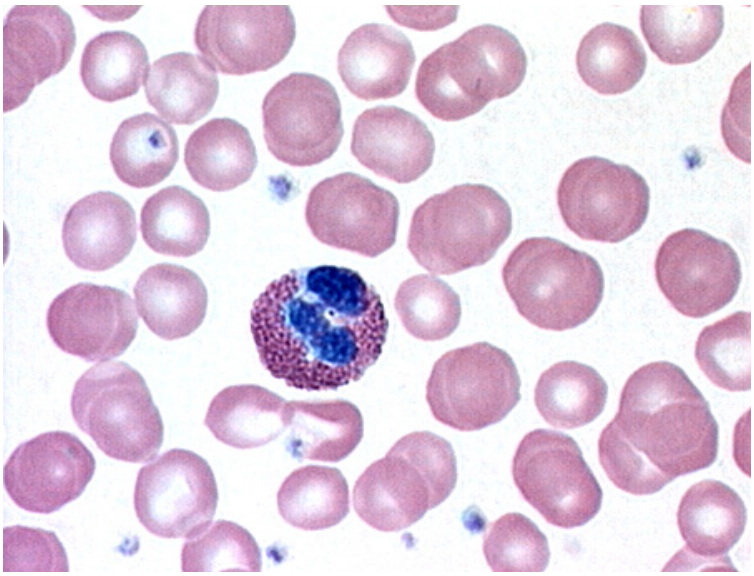
سلول‌های کروی، هسته با دو لب نامشخص و ۱۲ - ۱۰ میکرومتر قطر دارند. هیستامین که باعث التهاب بافت‌ها می‌شود و هپارین که جلوگیری از تشکیل لخته می‌کند را آزاد می‌سازند.



شکل ۲-۲. بازوفیل

۲-۴-۳ ائوزینوفیل‌ها

سلول‌های کروی، هسته‌ها اغلب دو لب دارند، ۱۲ - ۱۰ میکرومتر قطر دارند و مواد شیمیایی که باعث کاهش التهاب می‌شود ترشح می‌کنند و به کرم‌های انگلی معینی حمله می‌کنند.



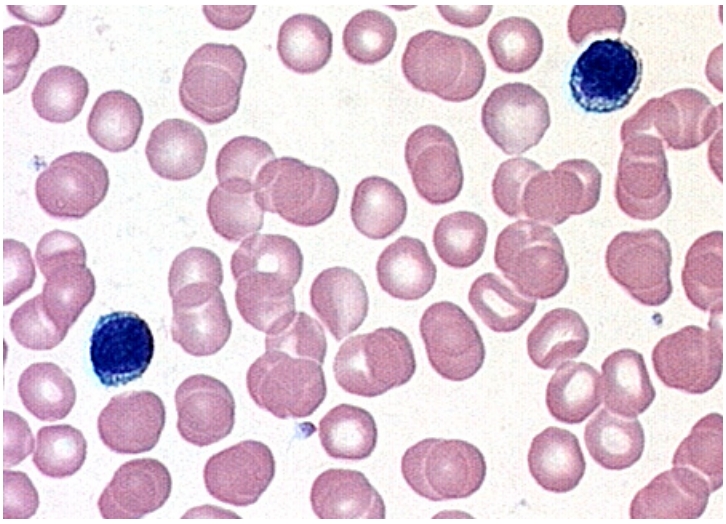
شکل ۲-۳. ائوزینوفیل

۲-۵ آگرانولوسیت‌ها

هسته نسبتا درشت و سیتوپلاسم یکنواخت دارند و شامل لنفوسیت‌ها و مونوسیت‌ها هستند.

۲-۵-۱ لنفوسیت‌ها

لنفوسیت‌ها سلول‌های کروی شکل با هسته‌ای گرد می‌باشند، که در آن‌ها سیتوپلاسم تشکیل حلقه‌ایی باریک در اطراف هسته می‌دهد. قطر این سلول‌ها ۸ - ۶ میکرومتر می‌باشد. لنفوسیت‌ها در افراد بالغ حدود ۲۵ درصد از گلبول‌های سفید را تشکیل می‌دهند و بیشتر در دستگاه لنفاوی یافت می‌شوند. لنفوسیت‌ها دو نوعند : نوع B که در مغز استخوان تولید و بالغ می‌شوند اما در گره‌های لنفاوی جای می‌گیرند و نوع T که پس از ساخته شدن در مغز استخوان در تیموس مراحل رشد و نمو خود را طی می‌کنند.



شکل ۲-۴. لنفوسیت

ظاهر لنفوسیت‌های B و T در زیر میکروسکوپ بهم شبیه است، اما فاصله‌های آن‌ها متفاوت است. سلول‌های B آنتی کور(پادتن) ترشح می‌کنند. آنتی کورها ملکول‌های پروتئینی و از نوع گلوبولین‌ها هستند. سلول‌های T بر خلاف سلول‌های B در سطح فرد گیرنده‌های آنتی کور مانندی دارد که به کمک آن‌ها به آنتی‌ژن میکروب‌ها می‌چسبند. بدین ترتیب سلول‌های T متحرک هستند و خود به محل عفونت یافته می‌روند.

۲-۵-۲ مونوسیت‌ها

سلول‌های کروی یا نامنظم می‌باشند. هسته‌های گرد یا کلیدی شکل و یا نعل اسبی شکلند. نسبت به لنفوسیت‌ها ، سیتوپلاسم بیشتری دارند. ۱۵ - ۱۰ میکرومتر قطر دارند. در خون به عنوان سلول‌های فاگوسیت کننده عمل می‌کنند دستگاه گردش خون را ترک کرده و تبدیل به ماکروفاژها می‌شوند که