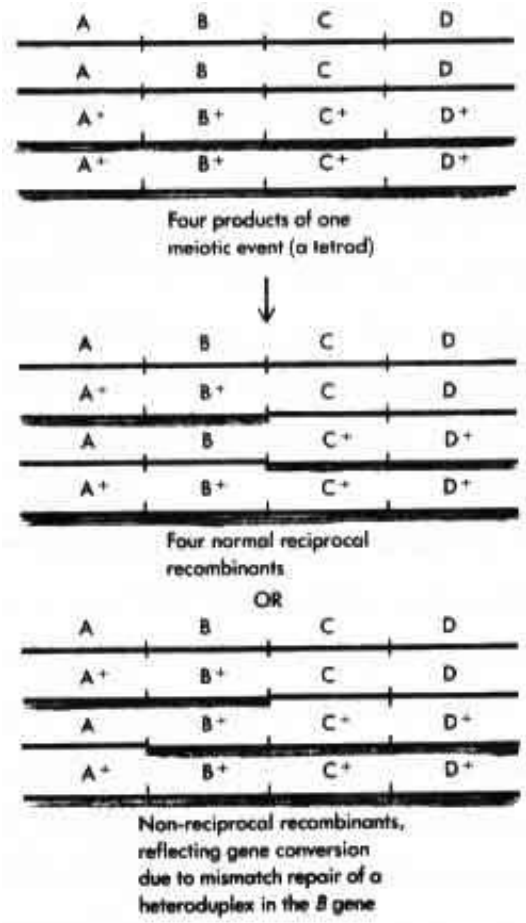
در نقطه تلاقی همواره نوترکیبی به صورت متعادل صورت نمی‌گیرد

تحقیقات اولیه در مورد تبادل قطعه بین ژن‌های مختلف نشان می‌داد که این عمل بر حسب ظاهر باید اجباراً به صورت متقابل انجام شود (شکل 1).



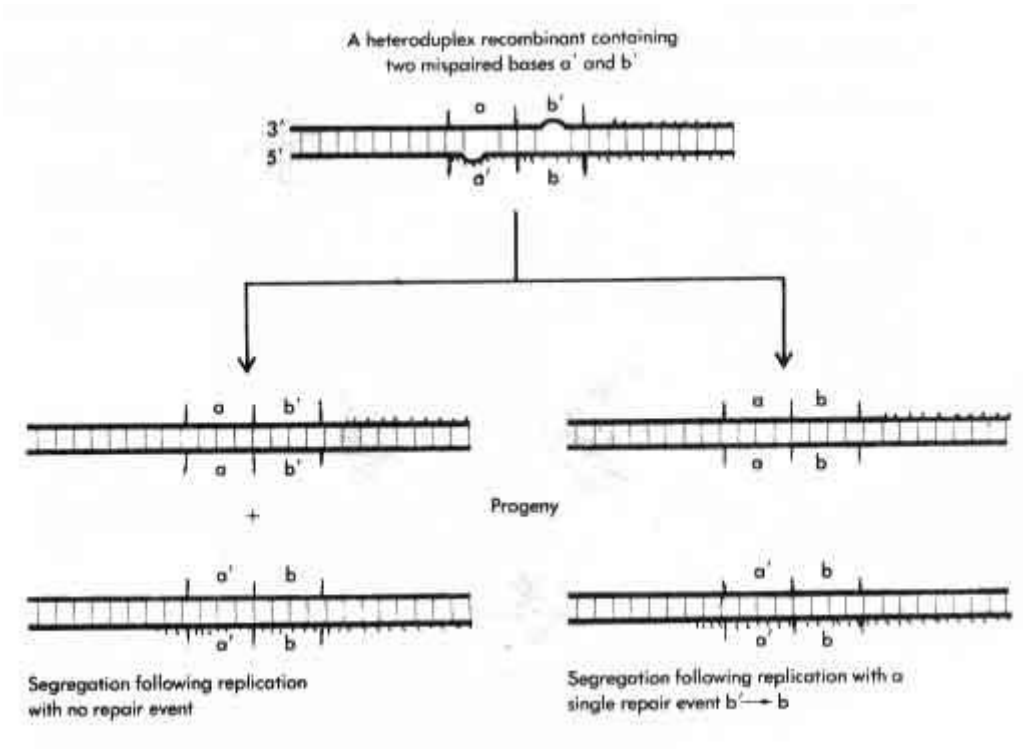
در اثر تبادل قطعه ممکن است نوترکیبی متقابل یا غیرمتقابل رخ دهد. در شکل بالایی چهار محصول چهار کروموزوم یک تقسیم میوز نشان داده شده است. اگر نوترکیبی به طور متقابل انجام شود، محصولات فوق به صورت شکل آخر در خواهند آمد. در مورد اخیر پدیده تبدیل ژن به دلیل ترمیم ناجور هترودوپلکس در ژن B صورت گرفته است.

ولی با بررسی نوترکیب‌هایی که در اثر تبادل قطعه بین نواحی نزدیک به هم در یک ژن بوجود آمده‌اند معلوم شد که استثناهایی در این مورد وجود دارند. این پدیده که به نام تبدیل ژن خوانده می‌شود بخوبی در جاندارانی مانند مخمر و نوروسپورا نشان داده شده است. در این جانداران تمام محصولات حاصل از میوز را می‌توان مشاهده کرد. به کمک این تحقیقات نشان داده شد که گاهی به جای آن که تفرق ژن‌ها به صورت متعادل (۲:۲) صورت گیرد ممکن است تفرق به صورت ۳:۱ انجام شود به عبارت دیگر در چهار مولکول DNA حاصل از تقسیم میوز ۳ نسخه از یک ژن (آلل) و یک نسخه از ژن همولوگ آن (آلل دیگر) یافت گردد (شکل 1). در چنین مواردی یک آلل از دست می‌رود و از آلل دیگر یک نسخه اضافی بوجود می‌آید.

فرضیه کراسینگ‌اور (تبادل قطعه) که قبلاً مورد بحث قرار گرفت امکان ایجاد چنین موارد استثنایی را می‌دهد. همان‌گونه که در شکل 2 نشان داده شده است، طرح تفرق نهایی ژن‌های موجود در اطراف ناحیه تقاطع ممکن است به وسیله آنزیم‌های ترمیم‌کننده‌ای که بدشکلی‌های هترودوپلکس‌های موجود در مارپیچ مضاعف را تشخیص می‌دهند، تحت تاثیر قرار گیرد و بدین صورت چنانچه بدشکلی در آنها وجود داشته باشد یکی از جفت بازهای جفت نشده (یا بدجور جفت شده) را به صورت تصادفی حذف می‌نماید. بر حسب آنکه چه بازهایی حذف شده باشند، نسبتهای ۲:۲ یا ۳:۱ ممکن است دیده شوند. به هر حال با مطالعات وسیع انجام شده مهمترین چیزی که باید در مورد نوترکیبی گفت، (حتی در حد مولکولی) فراوانی نوترکیبی های متقابل است.این بدان دلیل میباشد که اندازه هترو دوپلکس ها نسبت به فاصله اکثر ژنهایی که با یکدیگر نوترکیب می‌شوند کوتاهتر است به طوری که دو ژن مورد

مطالعه احتمال ندارد که در یک هترودوپلکس قرار گیرند، تا بتواند بین آنهـا تقـاطعی صـورت پـذیرد.

(شکل 2)

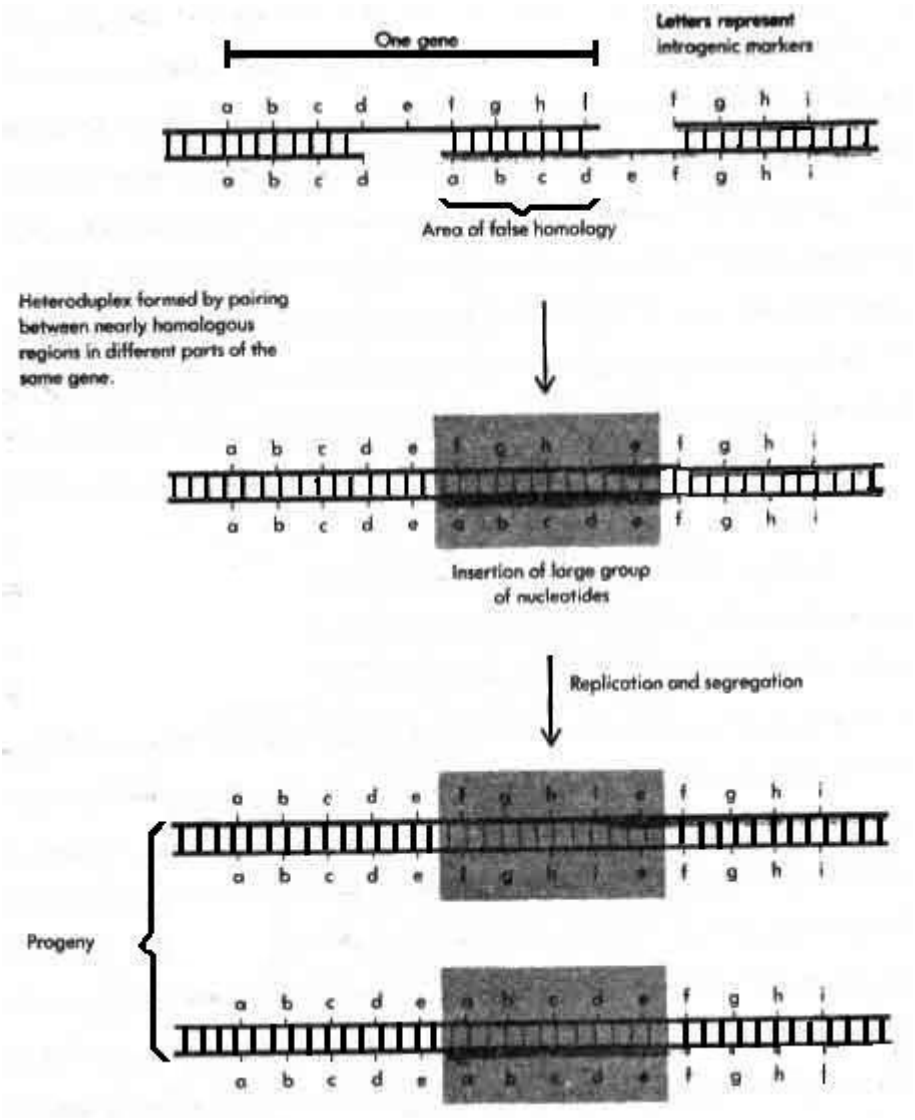


جدا شدن هترودوپلکس با و بدون انجام ترمیم.

خطا در تبادل قطعه سبب بروز پدیده‌های حذف و اضافه می‌شود

دقت بسیار زیاد تبادل قطعه به کنار هم قرار گرفتن صحیح نواحی تک‌رشـته‌ای مکمـل و ایجـاد مجدد پیوندهای هیـدروژنی بـین بازهـای مکمـل بـستگی دارد. بـا توجـه بـه آنکـه اکثـر توالیهـای پلی‌نوکلئوتیدی منحصر به فرد می‌باشند، چنین اتصال صحیحی بدیهی بنظر می‌رسد. اگر یـک زنجیـره پلی‌نوکلئوتیدی که در آن بیش از ۱۲ – ۱۰ نوکلئوتید وجود دارند را در کنار یک DNA تک‌رشته‌ای قـرار

دهیم، تقریباً هرگز توالی مشابهی با قطعه دیگری به همین طول نخواهد داشت. بنابراین از آنجـایی کـه قطعات تک‌رشته‌ای نسبتاً طویل هستند امکان اتصال یک قطعه غلط از یک ژن به قسمت دیگر آن و یـا به ژن دیگر بسیار بعید است. ولی در هر صورت در موارد نادر چنانچه در قسمتی از دو ناحیه کروموزومی مختلف تشابه ساختمانی (همولوژی) قابل توجهی وجود داشته باشد، امکان اتصال تصادفی و غلط وجود دارد. این چنین شرایطی منجر به حذف یا اضافه یک قطعه پلی‌نوکلئوتیدی می‌شود (شکل۳).



اضافه شدن چندین نوکلئوتید به یک مولکول *DNA*. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این امر از طریق جفت شدن توالیهای تقریباً همتراز درون یک ژن واحد صورت می‌گیرد.

چنین بازآرائیهای تصادفی معمولاً به وسیله پروتئین $RecA$ کاتالیز می‌شوند، ولـی ممکـن اسـت گاهی آنزیم‌های ناشناخته دیگری در ایجاد آن دخیل باشند.