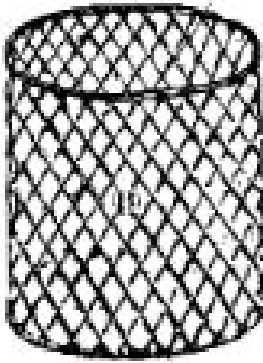




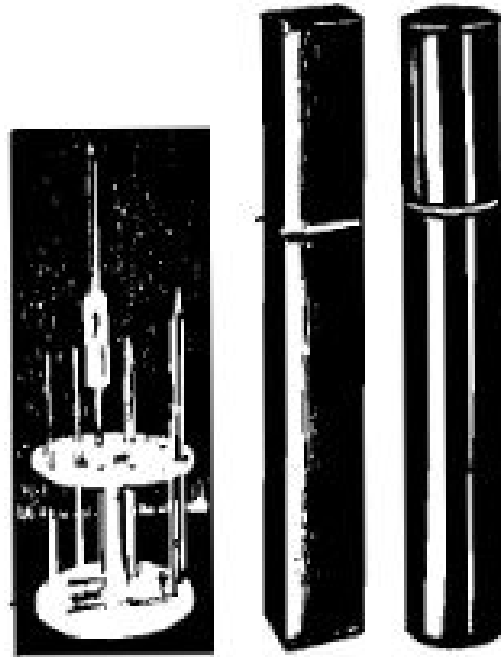
شكل ٣٤ : زجاجة ساعة



سبوت لحفظ الأواني



قمع ترشيح



أواني من الصفيح لحفظ الزجاجات أثناء التعقيم وحماية للعاصات المستعملة

شكل ٣٥

## تطبيقات زراعة الأنسجة

تطبق طرق زراعة الأنسجة في نواحي مختلفة من الحياة من أهمها :

### - في دراسة الأجنة :

يدرس عن طريق زراعة الأنسجة تأثير المواد الكيميائية المختلفة على عملية التفلج وتكوين الأنسجة والأعضاء، وقد أمكن زراعة الأجنة الصغيرة السن للطيور والثدييات بنجاح خارج أماكنها الطبيعية وقد لوحظ أن معدلات النمو تتأثر أكثر من معدلات التميز بحيث بدت الأجنة المزروعة صغيرة الحجم بالنسبة لمرحلة النمو التي وصلت إليها .

### - في دراسة الفيروسات :

تمكن زراعة الأنسجة من زراعة الفيروسات التي لا يمكن تربيتها وتكاثرها إلا داخل خلايا معينة ومن أهداف هذه الزراعة دراسة العلاقة بين العائل والطفيل والبحث عن تعريف الفيروسات وإنتاج فكسينات مضادة للفيروسات.

### - في علم الوراثة :

نجح العلماء في تكوين أوساط معينة لنمو خلايا الحيوانات الثديية في مجاميع كبيرة ومحددة وتمكنوا من تركيب أوساط ملائمة لكل نوع من أنواع الأنسجة، ويتغير الوسط يمكن الحصول على طفرات وهذه الطفرات فتحت مجالاً كبيراً لدراسة الكيمياء العضوية لخلايا الثدييات، كما درسوا تأثير الوسط على شكل الخلايا الظاهرية وسلوكها ورسمت منحنيات للنمو والحياة توضح هذه العلاقات .

ودراسة الكائنات المعقدة الراقية على مستوى الخلية الواحدة في مزارع خارج أماكنها الطبيعية يسهل دراستها وفحصها بدرجة أكبر مما لو كانت داخل الجسم.

### - في الطب :

زراعة الأنسجة مهمة جداً في عمليات نقل الأعضاء حيث يحتفظ بالأعضاء المستخرجة في مزارع ناجحة إلى أن يحين وقت إجراء العملية المناسبة، وقد نجح العلماء في نقل أعضاء عديدة ومهمة مثل الكبد والقلب والكلى وقرنية العين من أنسان إلى

---

آخر، ولكن تواجه هذه العمليات عادةً بمشكلة عدم تقبل جسم المريض لها ومحاولته لفظها، كما تستخدم طرق زراعة الأنسجة في علاج العقم الناتج عن انسداد الأنابيب في النساء، وذلك بأخصاب البويضة وتربيتها خارج الجسم لفترة ثم زرع الجنين مرة أخرى في رحم الأم.



شكل ٣٦ : أربعة توأم متشابهة ناتجة من بيضة واحدة.



شكل ٣٧ : توأم سيامس أو ملتصق

## التوائم

عملية ولادة طفلين في حمل واحد وأم واحدة يعتبر ظاهرة نادرة الحدوث في الإنسان تظهر في حوالي واحد في المائة فقط من حالات الولادة مع إنها أكثر شيوعا أو هي القاعدة في الحيوانات الأخرى. ويسمى الأطفال الناتجين من هذه الولادات بالتوائم. ويوجد نوعان من التوائم النوع الأول يسمى بالتوائم وحيدة الزيجوت أو المتشابهة وهي ناتجة من بويضة ملقحة واحدة أما النوع الثاني فيسمى بالتوائم الثنائية الزيجوت أو الغير متشابهة وهي التي تنمو من بويضتين مختلفتين.

### التوائم وحيدة الزيجوت :

حوالي ٢٥٪ من التوائم من النوع المتشابه (شكل ٣٦) وهي تنتج من إنقسام البويضة لتعطي طفلين وهذا الإنقسام يحدث اما مباشرة بعد اخصاب البويضة وتكون فلجتين تنفصل كل فلجة عن الأخرى وفي هذه المرحلة تكون كل فلجة لها قدرة كاملة على التكيف وتكوين جنين كامل بأغشيته الجنينية الخاصة به واما أن يحدث الإنقسام بعد مرحلة انغماد الجنين في جدار الرحم ويشمل هذا الإنقسام خلايا الدرع الجنيني فقط وهذا الإنقسام يحدث غالبا قبل ظهور الشق البدائي للجنين ويتحتم فيه أن يكون الخلايا الموجودة مازالت محتفظة بقدرتها على تكوين جنين كامل ونتيجة لهذه الطريقة في تكوين التوائم يشترك الكائنان الناتجان في مشيمة واحدة ويحتمل أن يكونا راقدين داخل غشاء أمينوسي واحد.

وفي حالات نادرة يكون إنقسام الدرع الجنيني غير كامل بحيث تتداخل المناطق المنقسمة مع بعضها أو تلتحم معوية توائم ملتصقة (شكل ٣٧) وتختلف درجة الالتحام من التحام جلدي طفيف إذا كان إنقسام الدرع الجنيني شبه تام إلى التحام كبير في الرأس أو الأطراف أو البطن والأعضاء الداخلية إذا كان الإنفصال الأول في الدرع الجنيني جزئيا، وإذا كانت درجة الالتحام معتدلة يمكن في بعض الحالات فصل الأجنة الملتصقة جراحيا ولكن في الحالات التي يشمل فيها الالتحام عضوا أساسيا مثل القلب أو الكبد تكون عملية الفصل الجراحي خطيرة، ويطلق عادة اسم التوائم السيامية على التوائم الملتصحة نسبة إلى توأم ولدا في سيام في سنة ١٨١١ وماتا عندما بلغا من العمر اثنان وستين عاما احدهما بعد الآخر بحوالي ثلاث ساعات وقد تزوجا وكان لهما تسعة عشر طفلا.

وفي حالات نادرة من التوائم يكون احدهما محروما من نصيب مساو من المشيمة وينمو ببطء نسبيا عن زميله. وأحيانا يصبح احدهما معتمدا على عضو أو جهاز من اجنة التوائم حتى يصبح متطفلا عليه. وأحيانا يكون الاختلاف فى الحجم فى هذه الحالات واضحا جدا ووجدت حالات كان فيها الجنين المتطفل مشابها لتكوين سرطاني ملتصق بالتوأم الأساسى أو حتى موجودا فى داخل جسمه.

ولأن الأجنة المتماثلة لها جينات متماثلة فهما يكونان دائما متشابهان فى المظهر والجنس ولهما نفس تركيب الدم ولكن من الممكن أن يكون هناك إختلاف طفيف فى لون الشعر والعينين ويقل التشابه بين هذين التوائم إذا تربيا فى بيئتين مختلفتين.

ومن الطريف أن التشابه الجسماني للأجنة المتماثلة ومعرفة ارتباطهما النفساني الوثيق أدى إلى معتقدات كثيرة بالنسبة إلى قوتها وتأثيرها حتى أنه فى بعض الحضارات أدى الخوف من القوى الناتجة من تأثر التوائم ضد المجتمع إلى قتل هذه التوائم المتشابهة .

### **التوائم ثنائية الزيجوت أو الغير متشابهة :**

ينتج هذا النوع من التوائم عندما تفرز بويضتان فى بورة مبيضية واحدة وتخصب كل منهما بواسطة حيوان منوي واحد وبهذا لا يكون تشابههما أكبر من تشابه أى أخوين عاديين. وهذا النوع من التوائم يكون حوالي ٧٥٪ من جملة التوائم. وقد تكون البويضات ناتجة من مبيض واحد بعد انفجار حويصلتين جرافيتين أو من حويصلة جرافية واحدة محتوية علي بويضتين أو تكون ناتجة من اسهام كلا المبيضين كل منهما ببويضة. وفى هذا النوع من التوائم يعمد كل جنين فى جدار الرحم على حدة وغالبا لا يكون هناك مشاركة فى الأغشية الجنينية ولكن فى بعض الأحيان تمتد المشيمتان فى إتجاه بعضهما حتى تبدو وكأنهما ملتحمتين. وفى بعض الحالات النادرة تتداخل الأجهزة البورية الجنينية فى منطقة التصاق المشيمات وهذا يسبب تعقيدات فى النمو إذا كان أحد الأجنة ذكرا والآخر أنثى لأن الهرمون الذكري المفرز فى الذكر سيصل إلى الأنثى ويمكن أن يسبب تذكيرا فى اعضائها التناسلية المتكونة.

وتوجد اختلافات قومية فى نسبة حدوث الأجنة غير المتشابهة وهذه النسبة ضئيلة فى اليابان حيث تبلغ حوالي واحد فى الألف من حالات الولادة، اما فى نيجيريا فتبلغ هذه النسبة ٤٠ فى الألف.

ويبدو أن هذه النسبة مرتبطة ببعض الصفات أو العوامل المتعلقة بالأم وتكون عالية في حالة الأمهات الطويلات الكيبريات في السن الكثيرات الأنجاب من الطبقات العليا في المجتمع.

### **التوائم العديدة :**

تتكون التوائم العديدة بنسبة نادرة جدا ففي المجتمعات التي تبلغ فيها نسبة التوائم واحد في المائة تكون نسبة التوائم الثلاثية واحد لكل عشرة آلاف ولادة وتبلغ نسبة التوائم الرباعية واحد في المليون فقط وتزداد نسبة الخطورة على الأم والتوائم بزيادة عدد التوائم ونقص نمو الأجنة هو احد الأخطار الكبيرة المتوقعة.

وهذه الأجنة قد تنمو كلها من زيجوت واحد وفي هذه الحالة تكون متماثلة أو من بويضات مختلفة فتكون ثلاثية البويضات أو رباعية البويضات... الخ.

قد يحدث أحيانا أن تولد أجنة غير متماثلة في ولادة واحدة. وقد أدى استخدام الهرمونات في علاج العقم في السنوات الأخيرة إلى حدوث حالات كثيرة لولادة توائم عديدة قد تبلغ أحيانا ستة أو سبعة أو حتى ثمانية ويتكون العلاج من استخدام الهرمون المنشط للحويصلة يليه الهرمون المنشط للغدد التناسلية فإذا كان تركيز الجرعة عالي أدى ذلك إلى نضوج عدة حويصلات في آن واحد وأفرازها إلى إنتاج عدد كبير من الأجنة.

### **كيفية الحصول معمليا على التوائم :**

يمكن الحصول معمليا على توائم برمائية وذلك بعمل رباط ضاغط بواسطة شعرة على جنين حيوان النيوت في مرحلة لاتتعدى مرحلة البلاستولة المتأخرة على شرط أن يكون الرباط عموديا على مستوى الشفة العليا لفم البلاستولة وبذلك يمكن فصل البلاستولة إلى نصفين يمكن أن ينمو كلاهما ليعطيا كل منهما حيوان نيوت كامل التركيب وهذا يثبت قدرة الأجنة الرائعة والغريبة على التكيف فلولا التدخل التجريبي لأعطى كل نصف من الجنين نصف جسم حيوان النيوت بعين واحدة فقط وطرف أمامي وآخر خلفي ولكن الرباط وضع خريطة جديدة تماما لتوزيع الخلايا ومستويات جديدة تماما للنمو بما فيها من محور رأس جديد.

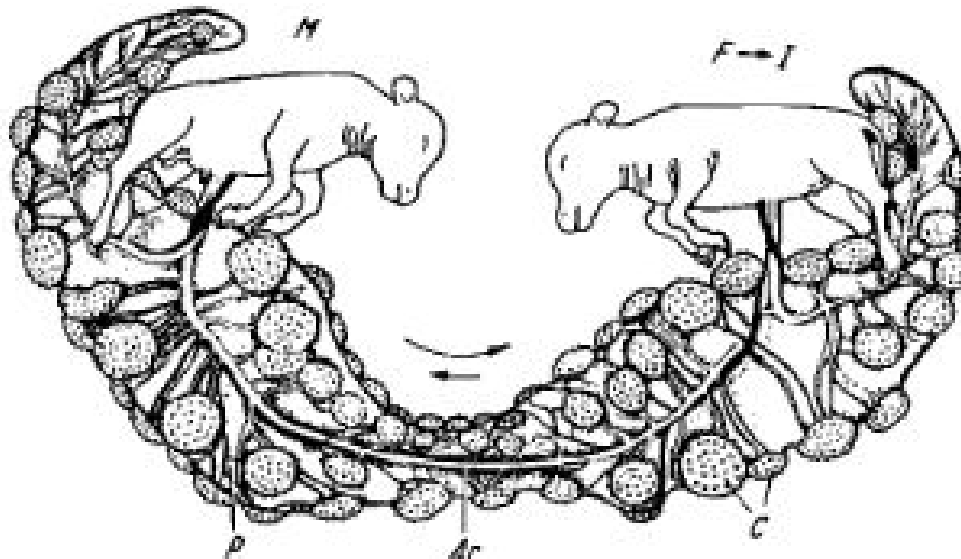
ويلاحظ أن الفردان الناتجان من هذه التجربة يكونان أقل حجما من المعتاد فقلة المواد الغذائية في البويضة تعنى أنه في الوقت الحالي يجب أن تتكون كل الأعضاء بما

فيها العيون والمخ والمعدة والقلب بنصف الحجم الذي كان مفروضاً من قبل ولكن بعد أن تبدأ البرقة في التغذية تستعيد هذه الأعضاء حجم جسمها الطبيعي، وقدرة الأجزاء المنفصلة من الحيوان النامي على إكتساب مستويات جديدة للنمو وتعديل مسار هذا النمو ثم معاودة النمو حتى يتكون الحيوان الكامل يطلق عليها عملية «تنظيم النمو». والتوائم البشرية المتماثلة تدين لوجودها ونموها الطبيعي المتناسق لهذه القدرة التنظيمية. ففي فترة متقدمة من مرحلة التفلق أو بعدها بقليل إذا انقسم الجنين لأي سبب ما سواء وراثي أو بيئي إلى قسمين ظهرت فوراً القدرة التنظيمية.

والقدرة البشرية على تعديل النمو تبدو بوضوح في التوائم الخماسية الكندية فهذه الفتيات الخمس اللاتي كبرن ليصبحوا كائنات طبيعية بدان حياتهن كوحدة بيولوجية واحدة.

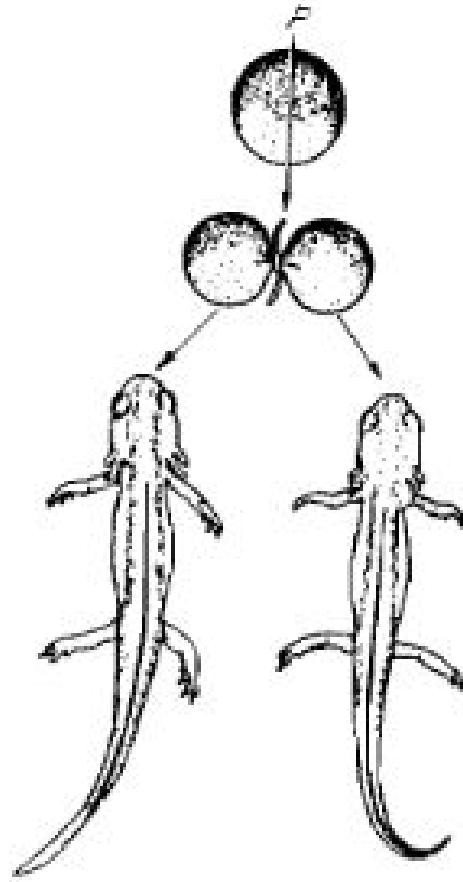
وإذا أجريت تجربة فصل الجنين إلى جزئين في مرحلة متأخرة من النمو أي بعد تكوين الجاسترولة سيستمر نمو كل من نصفي جنين النيوت ولكن الناتج سيكون حيوانات مشوهة يحتوي كل منها على نصف الأعضاء فقط لأن الأجنة في مرحلة الجاسترولة وما بعدها تفقد هذه القدرة التنظيمية أو القدرة على تعديل المسار لأنه يحدث تغير أساسي في مقدرة الخلايا على التحول بعد عملية التبطين وتكوين الجاسترولة ولكنه لايعرف إلى الآن سبب هذا التحول، وتكون الخلايا بعد مرحلة الجاسترولة ذات مصير

محدد.



شكل ٢٨ : التوأم في الأبقار له مشيمة متصلة مما يؤدي الى ولادة اثني عقيمة إذا كان أخوها التوأم ذكر نتيجة لتأثرها بالهرمونات الذكورية القادمة منه، أما إذا كان التوأم متعائل في الجنس فلا يكون هناك مشكلة.





شكل ٣٩ : الحصول على توأم من حيوان السلمندر بواسطة ربط الجنين بشعرة طفل في اتجاه عمودي في مرحلة البلاستولة.

## المناعة

كل الكائنات الحية تقاوم غزو المواد الغريبة فيعمل الجلد كخط دفاع أول وتعمل الياف النسيج الضام والطحال والعقد الليمفاوية كمرشحات تصطاد الأجسام الغريبة، وخطوط الدفاع هذه غير كافية فدفاع الجسم الأساسي ضد الأجسام الغازية والغريبة هو خلايا لها القدرة على معادلة وتحطيم هذه الأجسام فيما يعرف بعملية المناعة. وهذه الخلايا المضادة تسمى خلايا الالتهاب وتنتج بواسطة نخاع العظم أو الغدة التيموسية والجهاز الليمفاوي وبعض هذه الخلايا يسمى الخلايا الليمفاوية والتي تنتج مركبات تسمى الأجسام المضادة التي يمكنها التفاعل مع أو معادلة الأجسام الغريبة. أما في حالة هجوم البكتيريا على الجسم فإن الأجسام المضادة غالباً ماتبطل مفعولها بتغطيتها بغشاء يسهل على خلايا الالتهاب ابتلاعها وتحطيمها.

ولحسن الحظ فإن الأجنة الصغيرة لها نشاط مناعي ضعيف فإذا أعطيت هذه الأجنة مادة بروتينية غريبة من حيوان آخر في صورة مستخلص أو قطعة مزروعة من نسيج لا يؤدي ذلك إلى تكوين رد فعل مناعي ولا ينشط الجنين لتكوين أجسام مضادة لتحطيم الأجسام الغريبة وهذا مكن العلماء من إجراء تجارب زراعة الأنسجة التي ساعدت في تفهم التكوين الجنيني.

## التعرف الذاتي

الكائن الحي له القدرة على معرفة نوع البروتينات الخاصة به وبذلك لا يتفاعل ضدها ولكن إذا ظلت خليتان من نوعين وراثيين مختلفين متجاورتين في مراحل النمو الجنيني الأولى وظلتا على هذه الحالة فإنهما لن يعتبرتا بعضهما غريباً. وقد وجد أن الفار المختلط الناتج معملياً من تجميع جنين من فصيلتين مختلفتين وراثياً له مجموعتين مختلفتين من الخلايا وأن هذا الكائن البالغ المختلط له تحمل مناعي للخلايا الدموية القادمة من أي من الفصيلتين الأساسيتين.

## العوامل التي تساعد على عدم طرد الجنين بوصفه جسم غريب

هناك عدة نظريات تظل أسباب عدم طرد الأم لجنينها منها ما يلي:

## ١ - يعتبر الجنين غير ناضج مناعيا :

استبعد كثير من العلماء هذه النظرية الآن لأنهم وجدوا بعض التفاعلات المناعية في جنين الفأر الصغير وبعض الحيوانات الأخرى وخصوصا كلما كبر الجنين في السن.

## ٢ - يقل النشاط المناعي للأم أثناء الحمل :

وجد أن زراعة جزء من جلد فأر حديث الولادة في منطقة الصدر لأمه تنجح وينمو الجلد في هذه المنطقة بينما لاينمو إذا زرع على صدر انثى فأر أخرى بل يطرد. وهذا الكسل المناعي للأم يختفى بسرعة بعد الولادة ويحتمل أن يكون وجوده أثناء فترة الحمل راجع إلى التسرب المستمر للمواد الغريبة من خلال المشيمة.

لا يبدو هذا الاحتمال صحيحا لأنه إذا حقنت أجسام غريبة من خلال المهبل لأنثى فأر التجارب المسمى خنزير غينيا فإنها تنتج تفاعل مضاد مما يوضح أن الرحم ليس حاملا من الناحية المناعية كما وجد أن بعض الأجنة يمكن زراعتها بنجاح في التجويف البطني وتعيش هناك حتى مرحلة متأخرة من الحمل وهذا يوضح أن الرحم ليس المكان الوحيد المناسب لنمو الأجنة في الجسم.

## ٤ - يوجد حاجز مناعي في المشيمة :

هذه النظرية تلقى تأييدا كبيرا فمن المحتمل أن الليفية المترسبة في معظم المشيمات السجقية (اللاكتوسية) تعمل كحاجز مناعي. وقد وجد أن هذه الألياف تكون أكثر سمكا إذا كان الجنين مختلفا عن الأم من الناحية الوراثية عما لو كان الأثنان متشابهان.

## مثال على اختلال المناعة في الإنسان :

أكتشفت في عام ١٩٤٠ ميلاديا فصيلة من الدم غير الفصائل المعروفة أ ، ب ، و. فقد وجد أن الغالبية من البشر (٨٣٪) يحتوى دمهم على عامل النسناس الأيجابي أما بقية البشر (١٧٪) فلا يحتوى دمهم على هذا العامل وبذلك سميت فصيلة دمهم ذات عامل النسناس السلبي.

وفي العام التالي لاكتشاف عامل النسناس أكتشف د. ليفر علاقة وثيقة بين الفصيلة السلبيه لدم الأم الحامل وحالات اصابة الجنين بمرض فقر الدم أو اليرقان. ومنذ ذلك الحين بدأت الأبحاث المكثفة في الخارج لدراسة المشكلة وطرق علاجها.

## متى يكون الخطر بالنسبة للجنين :

إذا كانت فصيلة الأم سلبية وتزوجت من شخص فصيلة دمه إيجابية وحملت طفلا إيجابيا فربما تحدث مشكلة بالنسبة للجنين. ففي عشرين في المائة من الحالات تتفاعل الأم ضد الفصيلة الإيجابية لأبنتها بتكوين أجسام مضادة قادرة على تحليل كرات الدم الحمراء ذات الفصيلة الإيجابية ولأن هذه الأجسام المضادة تستطيع اختراق حاجز المشيمة يؤدي ذلك حتما إلى تحليل دم الجنين واصابته بفقر الدم واليرقان (الصفرا) داخل بطن أمه قبل ميلاده. ويحدث هذا على وجه الخصوص أثناء عملية الولادة حين تنفصل المشيمة عن جدار الرحم فتتسرب بعض كرات دم الجنين الحمراء إلى دم الأم فيقوم جهاز المناعة بتمييز هذه الكرات الغريبة على جسم الأم وتبدأ عملية الأحساس للفصيلة الإيجابية وبعد سلسلة من التفاعلات يقوم جهاز التحصين بتكوين أجسام مضادة ضد عامل النسناس وتبقى هذه الأجسام المضادة في دم الأم مدى الحياة وتظل قادرة على تحليل دم الأجنة الموجبة التي سوف تحمل بها فيما بعد لأن هذه الجسيمات قادرة على اختراق حاجز المشيمة.

ومما سبق يتبين أن الحمل الأول لا يتأثر مطلقا لعدم وجود أى أجسام مضادة في دم الأم ولكن خطورة الحمل الأول تكمن في أنه ممكن أن يؤدي إلى عملية تنبيه لدم الأم بالنسبة للفصيلة الإيجابية للجنين وبالتالي إلى تكوين أجسام مضادة ضد هذه الفصيلة والتي تشكل خطرا كبيرا على الحمل الثاني والثالث إذا كانت فصيلة دم الجنين في هذه الحالة إيجابية ومخالفة لدم الأم.

## أثر الأجسام المضادة على الجنين :

### ١ - فقر الدم الانحلالي في الرضع :

وهي أخف الأعراض حيث يولد الطفل مصابا بفقر دم ويحتوى دمه على نسبة عالية من الخلايا الشبكية وهذه الحالات تتحسن بسرعة إذا ما عولجت الأنيميا.

### ٢ - اليرقان الخطير في الرضع :

في هذه الحالات تكون حالة الطفل أشد تأثرا بالأجسام المضادة فبعد ساعات قليلة من الولادة يصاب الطفل باليرقان وعند فحص دمه يتبين أنه مصاب بفقر دم حاد وتضخم بالكبد والطحال.

## ٣ - إستسقاء الجنين الأمنيوسى :

وهو أشد حالات المرض ويحدث إذا كانت نسبة الأجسام المضادة مرتفعة جدا فى دم الأم منذ بداية الحمل حيث تقوم هذه الأجسام المضادة بالفتك بمعظم كرات دم الجنين الحمراء لدرجة خطيرة تؤدى إلى هبوط بالقلب واستسقاء بالجسم ووفاة الجنين فى معظم الحالات حيث يولد شاحب اللون به تورم عام بالجسم وتضخم بالكبد والطحال واستسقاء بالبطن كما تكون المشيمة متورمة وكبيرة الوزن وشاحبة وفى معظم هذه الحالات يحدث طرد مبكر للجنين فى حوالى الشهر الثامن من الحمل.

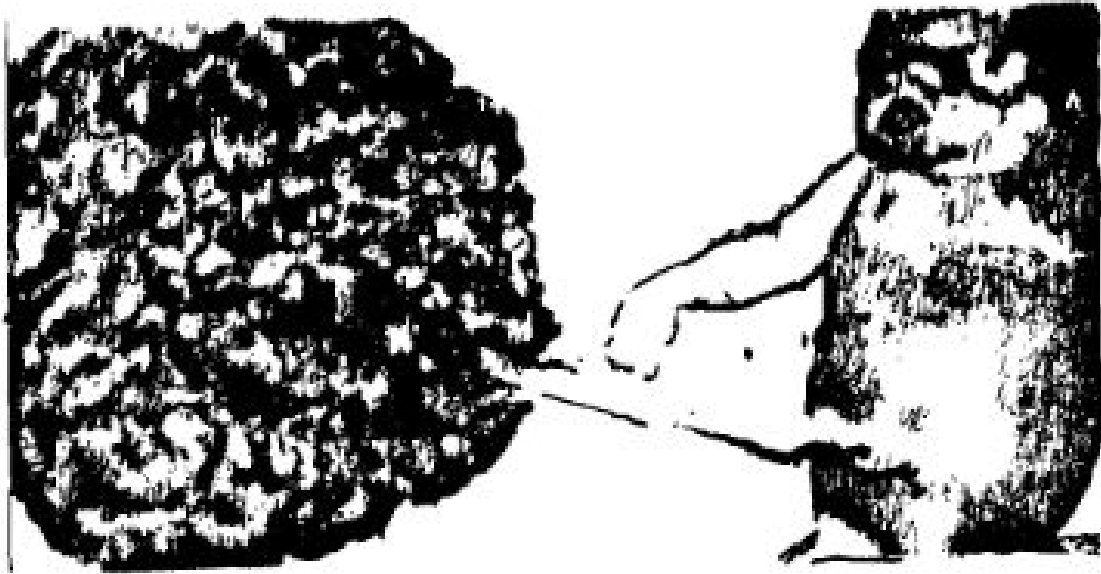
إذا كانت فصيلة دم الأب سالبة مثل الأم فلا يوجد هناك مشكلة بالنسبة للجنين لأن دم الجنين سيكون مماثلا لدم الأم. أما إذا كانت فصيلة الأب موجبة والام سالبة يجب فحص دم الأم بصفة دورية فإذا وجدت زيادة فى نسبة الأجسام المضادة تسحب عينات من السائل الأمنيوسى بصفة دورية بين الشهر السادس والثامن فإذا زادت نسبة الصفراء فى هذا السائل زيادة كبيرة يجب استئجال عملية الوضع قبل أن يؤذى الجنين وغالبا ما يجب تغيير دم الجنين بعد الولادة مباشرة للأسباب التالية :

أ - رفع نسبة الهيموجلوبين فى الطفل كعلاج لفقر الدم.

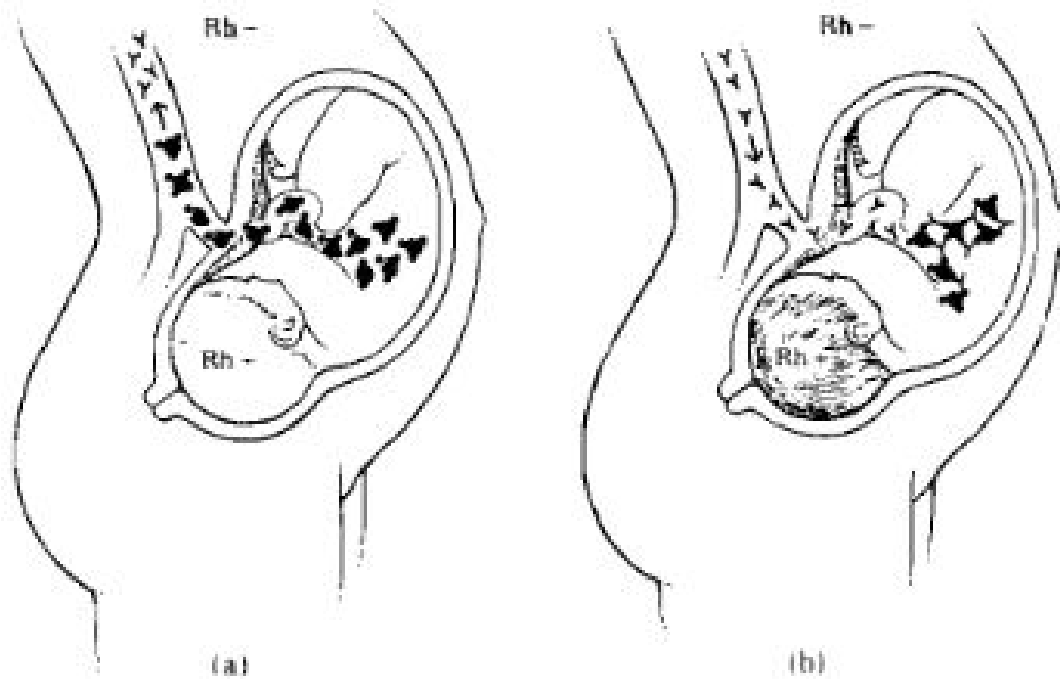
ب - خفض نسبة الصفراء فى دم الطفل وإيقاف أثر هذه المادة على خلايا المخ.

ج - تخليص الطفل من الأجسام المضادة التى وصلت إليه من دم أمه أثناء فترة الحمل.

كما يجب تخليص دم الأم بسرعة بعد الولادة من أى كرات دم تصل إليه من الجنين وبذلك تتوقف عملية الأحساس من دم الأم وبالتالي تكوين الأجسام المضادة وأثرها السيئ على الحمل التالى وذلك عن طريق حقنها بمادة الجلوبيولين الحصين فى العضل حيث تقوم هذه المادة بتخليص دم الأم من أى كرات دموية إيجابية تكون قد تسربت من دم الجنين إلى دمها أثناء انفصال المشيمة فى أثناء الولادة وبالتالي يظل دم الأم نظيفا وخاليا من الأجسام المضادة.



شكل ٤٠ : صورة توضح التأثير العاد الناتج عن عدم تألف فصيلة دم الأم (عامل النمناس السلبى) وفصيلة الجنين (عامل النمناس الإيجابى) ويرى انتفاخات فى كل جسم الجنين وفى المشيمة المعزقة).



شكل ٤١ : الاحداث المصاحبة لحمل أم تحمل عامل ريسن السلبى فى جنين يحمل عامل ريسن الإيجابى مثل أبوه.

## العمليات الجراحية فى الجنين

بينما يطفو الجنين البالغ طوله بوصة واحدة بعيناه التى لم تتكون لها جفون بعد، فى السائل الأمينوسى داخل رحم الأم يمر بأهم فترة فى حياته كلها يكون فيها معدل نموه عال جدا لدرجة أنه اذا استمر على هذا المعدل طوال مراحل نموه الجنينى لبلغ وزنه عند الولادة ١٤ طنا، ولم تسجل هذه المراحل الأولية من النمو إلا حديثا بواسطة الصور المأخوذة بواسطة الموجات فوق صوتية أو بالعدسات الدقيقة التى أمكن الآن وضعها داخل الرحم لتصوير الجنين اثناء نموه، وقد سجلت مراحل النمو هذه قديما من أجنة ناتجة عن سقوط الحمل قبل إكتماله وكانت معظمها لأجنة ميتة. وظل الأطباء حتى وقت قريب عاجزين عن علاج الجنين مهما كانت درجة مرضه، ولكن أمكن الآن علاجه فى هذه المراحل الأولية من النمو بعد التقاط صور له بعدسة موجودة فى أنبوبة من الزجاج والصلب تمر داخل عنق الرحم وتستقر فى أحد المناطق الشفافة فى كيس الأمينوس لفحص الجنين الذى يكون جلده شفافا حتى عمر أربعة أسابيع مما يتيح رؤية دمه وهو يتدفق خلال القلب.

وقد تمكن الأطباء بهذه الطريقة من تتبع الأعضاء المختلفة للجنين اثناء تكونها والتقطوا له صور وهو يضع أصبعه فى فمه ويلعب بقدميه ليتلامسا. وقد تمكن د. مايكل باجش من كنساس من اخذ عينات من أنسجة الطبقة الخارجية للكيس الجنينى وزرعها خارج الجسم ليفحص الكروموسومات الموجودة فى خلاياها ليستدل على أى شذوذ ممكن ان يوجد بها فى ميعاد مبكر يتيح علاج الجنين قبل استفحال الداء أو التخلص منه كلية إذا كان دائه مميتا ويمكن التعرف بهذه الطريقة على الأمراض الوراثية وأمراض مثل مرض داون. وأمراض الدم مثل سيولة الدم وداء رساس. وكانت تجرى هذه الفحوص قديما بأخذ جزء من السائل الأمينوتى أو من أنسجة الجنين نفسه فى وقت متأخر نسبيا من الحمل بعد حوالى ١٦ اسبوعا من خلال فتحة فى بطن الأم مما يعرض الأم والجنين للخطر ويكون من الصعب التخلص من الجنين المصاب فى هذه المراحل المتأخرة من الحمل.

وقد اجرى لأحد القرود من نوع رساس فى مركز أبحاث الرئيسيات بدافيز بالولايات المتحدة الأمريكية عملية جراحية فى عام ١٩٨١ وهى فى منتصف مرحلة نموها الجنينى وهى عملية فريدة فى نوعها اخرج فيها الجنين جزئيا من رحم أمه وهو متصل بها

بواسطة الحبل السرى فقط وجعله يصاب بأستسقاء فى الرأس ثم محاولة التخلص من هذا الأستسقاء بعد تكوينه. وأثناء إجراء العملية الجراحية أخرج السائل الأمنيوتى من الرحم واحتفظ به معقما دافئا ثم اعيد مرة أخرى إلى الرحم. ويشكل مرض أستسقاء الرأس فى الجنين حالة فى كل الفين من الولادات فى الأنسان ومحاولة علاجه تعتبر هامة جدا للطب الجنينى.

ومن أوائل البشر اللذين اجريت لهم عملية جراحية تصحيحية خارج الرحم كان جنينا يبلغ من العمر ٢٦ أسبوعا ويعانى من انسداد بولى اظهره كشف بالموجات الفوق صوتيه فى برنامج لعلاج الأجنة أجرى فى جامعة كاليفورنيا بسان فرنسيسكو. وقد اوضح هذا الكشف قلة فى السائل الأمنيوتى الذى يتكون أساسا من بول الجنين، والذى يعنى قلته عدم قدرة الجنين على إخراج البول وأخرج هذا الجنين المصاب جزئيا من بطن امه واعيد تشغيل حالبيه واعيد مرة أخرى إلى مكانه، وقد تمكن هذا الجنين من اكمال نموه حتى الولادة ولكنه مات بعد ٩ ساعات من ولادته بعملية قيصرية نتيجة لأصابة رئتيه اصابة لايمكن شفائها من تراكم البول الذى عانى منه فى فترة نموه الأولى قبل إجراء العملية. واعتبرت هذه العملية الجراحية ناجحة من الناحية الطبية ولكنها اجريت فى فترة متأخرة نسبيا فلم تمكن من إنقاذ الجنين المريض.

وعند فحص ربة بيت أمريكية من متشجان تدعى ترى بنيت بالموجات فوق الصوتية أظهرت الصورة ان جنينها يعانى من أستسقاء بالمخ مما جعل رأسه يبدو ككرة قدم منتفخة مما يهدد بأصابة الجنين بتخلف عقلى يجعله نزيل المؤسسات العلاجية مدى الحياة مالم يقرر الأبوان الكاثولكيان الموافقة على اجهاض الأم. وقد بحث الزوجان عن حل بديل حتى وصلا إلى مركز أبحاث الصحة بجامعة كلورادو حيث اخذت أنبوية شبيهة بالمكرونة الأسباجتى ذات صمام نو إتجاه واحد من خلال ابرة ملفوفة إلى جمجمة الجنين لتكون ممرا لخروج السائل الضاغط على المخ إلى السائل الأمنيوتى المحيط بالجنين وقد اجريت هذه العملية بون فتح الرحم حيث اخترقت الأبرة الأم ثم الجنين واستعان فيها الجراحين بحاسة اللمس والموجات الفوق صوتية فقط. وقد نجحت هذه العملية وعاش الجنين وبدا طبيعيا حتى الآن. وقد وضعت أمه كتابا مصورا سجلت فيه بداية حياته فى ثمانين صفحة.

وقد بدأ ظهور الطب الجنينى فى الستينيات عندما اخرجت أولا أجنة حيوانية من رحم أمهاتها ورقبت ثم اعيدت مرة أخرى إلى الرحم فى منتصف فترة الحمل. وكان



---

الأطباء في نفس الوقت يعالجون حالات داء راساس الشديدة بتغيير دم أجنة البشر المصابة بهذا المرض واكتشفوا بعد ذلك بعشرة أعوام أنه يمكن علاج نقص الفيتامينات في الجنين بأعطاء الأم جرعات مضاعفة من هذه الفيتامينات كما يمكن علاج حالات إصابة القلب في الجنين بأعطاء الأم جرعات مضاعفة من عقار الديجالتز حيث تنفذ هذه المركبات جميعها من الحاجز المشيمي.

ومن أغرب العمليات الجراحية الجنينية عملية الأجهاض الاختياري التي اجريت في عام ١٩٨١ في مستشفى الولادة بنيويورك حين علمت الأم من اختبارات مبكرة دورية أنها تحمل توأما أحدهما مصاب بظاهرة داون. وأخبرها الأطباء أنها تستطيع الاحتفاظ بجنينها السليم وتجهض المصاب بسحب دمه بواسطة ابرة. ونجحت العملية ووضعت الأم جنينا سليما وآخر أثنى غشائى متبقى من الكائن المصاب.

## عبور حاجز النوع

زراعة قلب قرد البايون في جسم الطفلة فاي هو آخر وأهم نموذج لنقل أعضاء من الحيوان لتعمل في جسم الإنسان. وقد قام العلماء منذ عشرات السنين بمحاولات لعبور حاجز النوع وكان نجاحهم متواضعا ولكنهم اثبتوا أن هذا الحاجز ممكن عبوره.

وقد استخدم الجراحون بالفعل قطع غيار حيوانية في الطب البشرى منها الخيوط الجراحية المأخوذة من أمعاء الماشية وجلد الخنازير الذي يستخدم كغطاء مؤقت لجلد ضحايا الحروق. وأوتار البقر وعظامها التي تستخدم بكثرة في تعويض مثيلاتها في جسم ضحايا الحوادث. كما استخدمت أجزاء من غشاء التامور الذي يحيط بالقلب في البقر في إصلاح صمامات القلب البشرية. وهذه الأجزاء أكثر ملائمة لكبار السن من الأجزاء الصناعية وقد استخدمت بالفعل في آلاف العمليات الجراحية منذ عام ١٩٧٠ حتى الآن.

ونقل الأعضاء الكاملة بين الأنواع المختلفة من الحيوان مازال نادرا الحدوث فيمكن بسهولة نسبيا نقل الأعضاء بين أفراد النوع الواحد، أو بين نوعين متقاربين مثل الكلب والذئب أو بصعوبة بين نوعين متباعدين مثل نقل جزء من القلب من قرد البايون إلى قلب الطفلة فاي. وقد أجريت حوالي ست عمليات جراحية لمرضى الكلى المينوس منهم ونقلت إليهم ستة كلى من خنازير أو ماعز أو حملان أو من القرود العليا في أوائل هذا القرن وفشلت هذه المحاولات جميعها وتوقف الجراحون عن إجرائها. وبدأ الأهتمام مرة أخرى بإجراء عمليات مشابهة عندما بدأ جراحان في أوائل الستينيات دراسة مثيرة على نقل كلى من الحيوان إلى الإنسان. وزرع د. كيت ريماتسما من جامعة تولان بأمریکا ستة كلى من حيوان الشمبانزى في ستة مرضى كما قام د. توماس ستارزل من جامعة كولورادو بزرع كلى البايون في ستة مرضى آخرين، وفشلت هذه الأعضاء جميعها في العمل ولكنها أستمرت لفترة طويلة نسبيا فقد أستمرت كلى البايون في العمل لمدة شهرين وعملت كلية من الشمبانزى لمدة تسعة أشهر حتى مات المريض من العدوى. وترك هذان الطبيبان محاولتهما وانتقلا إلى تجارب على الإنسان ولكن أستمر عدد كبير من العلماء في زراعة الأعضاء بين الأنواع المختلفة من الحيوانات من أجل دراسة المقاومة الصناعية بوجه عام ووجدوا أن التلائم يحدده فصيلة الدم والتفاعل الخلوى ونوع الأنسجة. وكلما ازداد تقارب هذه العوامل كلما ازداد احتمال تقبل العضو المزروع في

الجسم المتلقى. وبهذه النظرية يعتبر الشمبانزي أقرب الحيوانات إلى الإنسان يليه الغوريلا ثم الأورانج أوتان. أما البابون الذي ينتمي إلى القردة الأبعد اتصالاً بالإنسان فإنه يتميز بتشابهه بناؤه الهندسي مع الإنسان ويفصائل دمه أ، ب، أب. وقد قام د. جوزيف فورتنز من المركز الطبي للسرطان بنيويورك بتوصيل الجهاز الدوري لسيدة تبلغ من العمر واحد وعشرون عاماً ومشرفة على الموت بسبب سرطان الكبد بالجهاز الدوري لبابون لمدة ثمان ساعات كان اثنائها يمرر دم السيدة في كبد البابون مما اتاح لكبدها أن يتخلص من سمومه ويعوض أنسجته التالفة وقد ماتت السيدة بعد سبعة أسابيع من إجراء هذه العملية.

وتتميز قردة البابون بالإضافة إلى أهميتها الطبية بكثرة عددها وتوفرها بكثرة في أفريقيا وجنوب الجزيرة العربية بعكس القردة العليا. ويربى الآن في الولايات المتحدة الأمريكية من أجل البحث العلمي فيوجد منه في سان انطونيو في مركز أبحاث الكيمياء الحيوية ٢٥٠٠ قرداً يوزع منها ٢٠٠ سنوياً على المراكز العلمية المختلفة. وقلب أحد هذه القردة زرع في صدر الطفلة فاي وعمل لمدة طويلة نسبياً تبلغ واحد وعشرين يوماً توفيت الطفلة بعد أن دخلت التاريخ كأول رضیعة تعيش بقلب قرد لهذه المدة.





# تعويض الأعضاء فى الحيوان

## مقدمة

إذا فقدت يرقة السلمندر طرف ما يعوض العضو المفقود بعملية نمو وتميز تبدأ من العقب ولأن العقب ينتج طرف مماثل للطرف المفقود فإنه يظن أن مجال التميز للأطراف يظل موجودا بعد النمو الجنينى وفى داخل هذا المجال فإن الخلايا التى تظهر بعد الأستنصال تتكاثر وتتجمع فى أنسجة وتصبح على درجة عالية من التخصص والثبات ولذلك فإن النمو التعويضى يحتوى على كثير من العمليات الموجودة فى النمو الجنينى وتسرى عليها قواعد مماثلة لعمليات النمو.

ومع ذلك فلا يعتبر التعويض نمو جنينى لأن عمليات التعويض تنشأ ويتحكم فيها من خلال عمليات ونظم مختلفة وأيضا فى رتب كثيرة من الحيوانات لا يظهر التعويض إلا فى الحيوانات البالغة فقط وتكون مفقودة فى الأجنة كلية فمثلا بيضة الأسيدا التى تفقد بعض فلجاتها تنمو إلى يرقة ناقصة وأيضا بيضة الديدان الحلقية التى تفقد فلجتها الرابعة تفقد معظم نسيجها المميز ودرمى مع أن الاسيدا والحلقيات البالغة لها قوى تعويضية عظيمة.

ولأن التعويض يشمل تمثيل قوى يتحكم فيها وراثيا بطريقة مماثلة لما تقوم به الخلايا الجنينية فإنه يحسن دراسته فى مجال علم الأجنة لأنه يعطى رؤيا جديدة لعمليات التحكم فى النمو والتميز.

## القوى التعويضية واسعة الانتشار :

القدرة على تعويض عضو مفقود موجودة في كل الكائنات الحية بدرجة ما . . وهي أكثر وضوحا في الحيوانات اللافقارية والفقاريات الدنيا التي لها القدرة غالبا على إعادة بناء كائنات جديدة من قطع صغيرة فقط من الجسم الاصلى بل أنه في كائنات كثيرة عملية التفتت والتعويض هي الصورة الطبيعية للتكاثر اللاجنسى، اما في الحيوانات الفقارية فان قدرة الكائنات البالغة على تعويض جزء كبير من الجسم مقصورة على البرمائيات الذيلية. (التي تستطيع تعويض طرف أو ذيل مفقود كما تستطيع تعويض العين أو فك أو خيشوم) والسحالي التي لها القدرة على تعويض ذيولها والأسماك التي لها القدرة على تعويض الأجزاء البعيدة المقطوعة من الزعانف. أما يرقات البرمائيات اللازلية فلها القدرة على تعويض ذيولها وأطرافها الخلفية إذا استئصلت قبل مرحلة التحور ثم تفقد هذه القدرة فيما بعد.

وكما هو واضح من الأمثلة السابقة فإن هناك إختلاف كبير في قدرة الحيوانات البالغة على التعويض باختلاف نوع الحيوان. فالدودة المفلطحة المسماة بالبلاناريا لها قدرة كبيرة على التعويض مشابهة لقدرة الديدان التي يمكن تقسيمه إلى عدة أجزاء كل جزء يمكنه التميز على مراحل ليكون حيوان كامل، والجوفمعويات وخصوصا الهيدرات لها قدرة تعويضية عالية بحيث يمكن لحيوان كامل منها أن يعوض من أجزاء صغيرة من الحيوان الاصلى اما البرمائيات الذيلية التي لها القدرة على تعويض أطرافها إذا استئصلت فتكون طرف جديد من سطح العقب المنزوع ليعوض الجزء المنزوع بكل ما يحتويه من أنسجة مرنة وعظام اما في الضفادع البالغة والزواحف والطيور والثدييات فإن القدرة التعويضية فيها محدودة وتقتصر فقط على عملية التنام الجروح وبعض الأنسجة.

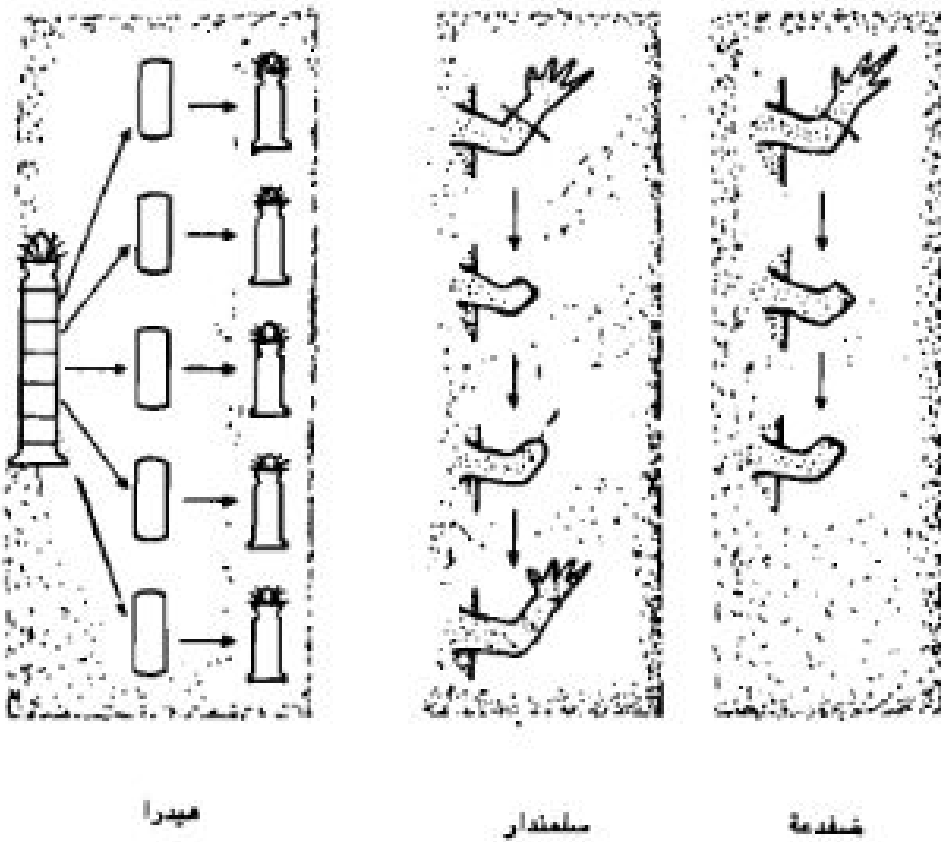
وأثناء تأمل عملية التعويض يجب أن نفرق بين درجات التعويض التي يجب أن ينشط بواسطة تأثير خارجي مثل أحداث جرح ما وهي اما أن تكون:

• أولا : تعويض المكونات المختلفة لعضو ما .

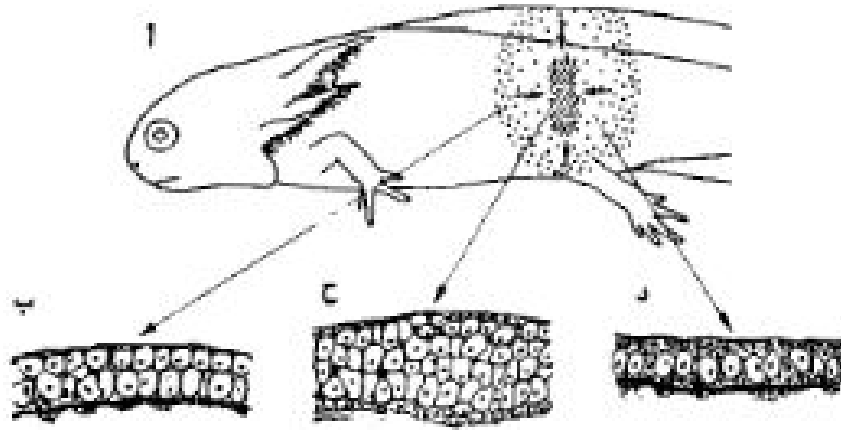
• ثانيا : تعويض الأعضاء المختلفة أو جزء من كائن ما .

• ثالثا : تعويض كائن كامل من جزء منزوع .

وكل الحيوانات لها القدرة على النوع الأول من التعويض الذي يسمى بالتعويض الأكتامي أو القسيولوجي. والنوع الثاني منتشر في بعض اللافقاريات والفقاريات الدنيا كما ذكر من قبل أما النوع الأخير فهو وقف على مجموعة مختارة من الحيوانات مثل نجوم البحر والهيدرات والبلاناريا (شكل ٤٣).



شكل ٤٣ : الاختلاف في القدرة على التعويض ما بين تعويض كامل في الهيدرا وتعويض جزئي في السليمندر ومجرد التام للجرح في طرف النجم قاع.



شكل 11 : هجرة الخلايا اثناء التام الجرح في بركة النوب.  
 أ - تهاجر الخلايا المجاورة أولاً لتلحق الفتحة  
 ب - قطاع في الجلد من منطقة الجرح  
 ج - تراكم الخلايا في منطقة الجرح  
 د - قطاع في المنطقة المستنزفة

ويبدو لأول وهلة أن القدرة التعويضية متناسبة عكسياً مع الوضع الأرتقائى للمجموعة الحيوانية ودرجة تخصصها ولكن بالدراسة المتأنية يتضح أن الأمر ليس بهذه البساطة فالبرمائيات لها قدرة تعويضية أكبر من الأسماك ودائرية الفم الأقل منها رقياً. والرخويات لها قدرة على التعويض أكبر من الديدان الخيطية.. كما أن القدرة التعويضية غير متساوية التوزيع في داخل مجموعة حيوانية واحدة فمثلاً بعض أنواع من حيوان الأسيديا (حيوان فقارى بدائى) تتميز بقدرة عالية على التعويض بينما أنواع أخرى من نفس المجموعة قوامها التعويضية ضعيفة نسبياً.. كما وجد أنه باستخدام الظروف الملائمة يمكن تنشيط عملية التعويض في حيوانات ليس لها هذه القدرة فى الأصل.

والفقاريات العليا مثل الثدييات ليس لها القدرة أساساً على تعويض الأجزاء المفقودة حتى فى الأطوار الجنينية ولكن عمليات تعويض الدم والجلد ومشتقاته تستمر طيلة الحياة كما يمكن للعظام والحوصلة الصفراوية والأمعاء والمثانة البولية أن تعوض بعدد أصابتها كما توجد أمثلة كثيرة على تعويض محاور الأعصاب الطرفية والوصلات العصبية، وبعض الحيوانات الراقية تظهر قدرة عجيبة على تعويض أعضاء معينة مثل الكبد فالقار مثلاً يستطيع تعويض ثلاثة أرباع هذا العضو الهام وفى هذه الحالة تكون عملية التعويض مشابهة لعملية تعويض الدم التى تحدث أتوماتيكياً عند نقص كرات الدم الحمراء التى يستجيب لها الجسم بتكوين كرات دموية جديدة بسرعة. وتستجيب الغدة



الدرقية والكبد لفقد خلاياها عن طريق انقسامات خلوية سريعة يستعيد بواسطتها العضو الأنسجة المفقودة.

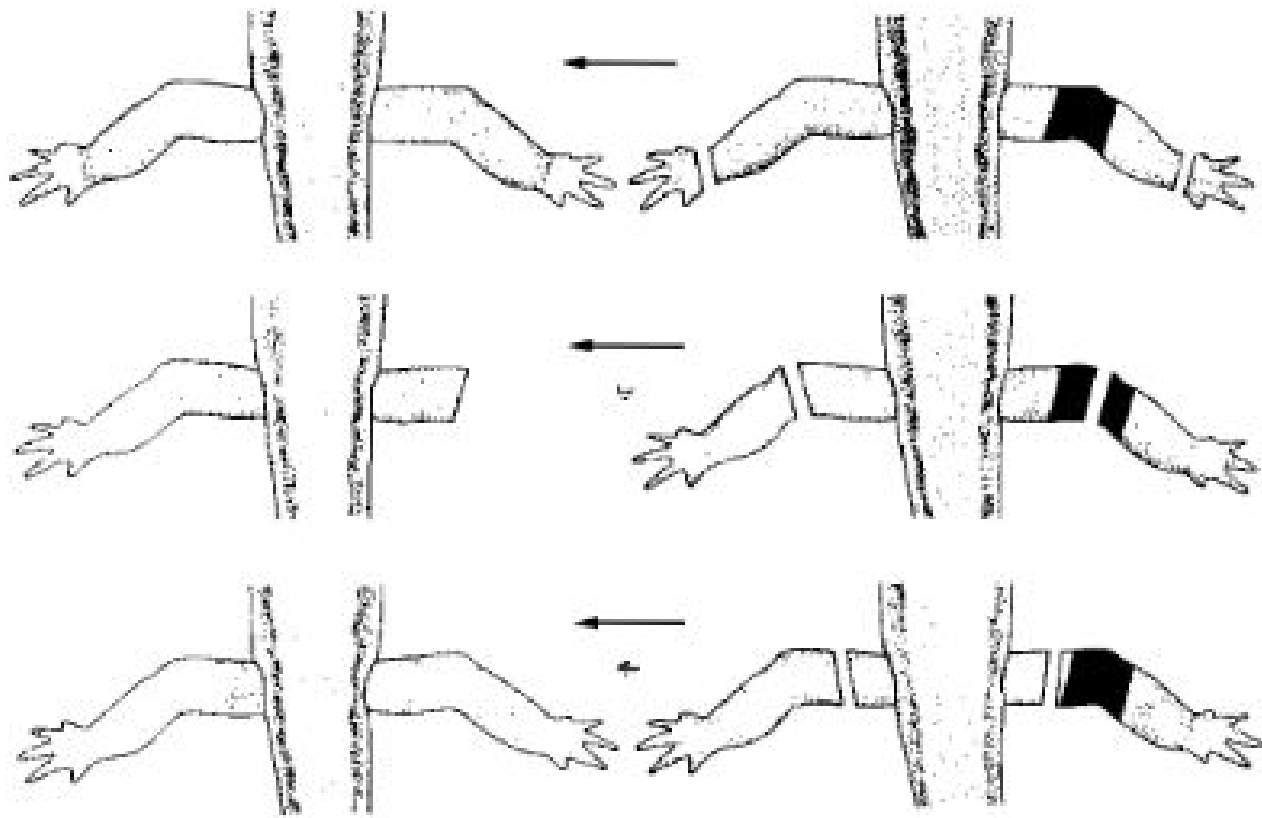
وعمليّة التعويض مهمة جدا لحياة الحيوان وواجب الباحث هو اكتشاف العوامل التي تؤدي إلى استجابة نوع من الأنسجة وعمل الكمية المناسبة من النسيج المعوض وقد وجد أنه بالنسبة للنسيج المسئول عن حفظ التكوين الكيميائي للدم في حدود طبيعية أن زيادة تركيز مكونات الدم التي يجب على الجسم أن يتخلص منها تزيد بزيادة فقدان الدم ويتبع ذلك جهد وظيفي زائد على خلايا هذا النسيج يستجيب لها بزيادة الإنقسام حتى يقل الجهد بالنشاط الناتج عن زيادة عدد الخلايا.

وقد وجد في الغدد الصماء أن العوامل التي تدفع الغدة إلى افراز هرمون هي نفسها تؤدي إلى زيادة عدد الخلايا في هذه الغدة، أما بالنسبة للكبد والكلية فإن العملية أكثر صعوبة لأن كلاهما مسئول عن حفظ عدد مكونات الدم في حدود معلومة كما أن لهما وظائف أخرى حيث تتحكم الكلية في ضغط الدم والكبد يفرز بعض انزيمات الهضم.

### خواص القدرة على التعويض :

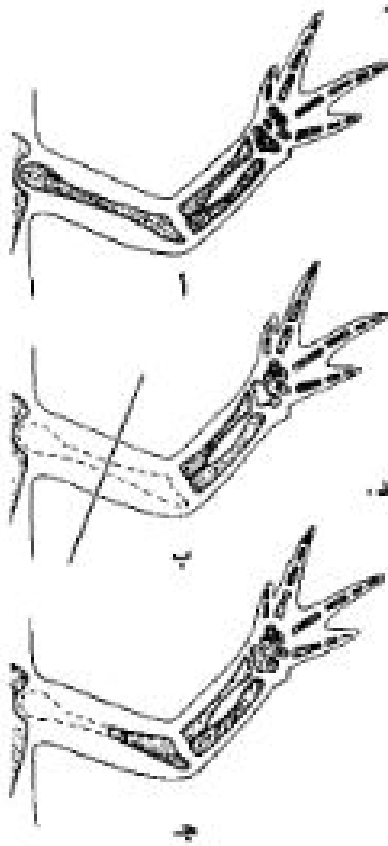
تتميز القدرة على تعويض الأعضاء في الحيوانات المختلفة بميزات معينة مشابهة لبعض الميزات التي تحدث أثناء عملية التكوين الجنيني. فيوجد مواد منشطة لعملية التعويض وعملية هجرة وتحرك للخلايا وعمليات تأثير خلوي وديناميكية لتجميع الخلايا وعمليات تحديد للنوع وتميز ولذلك فإن عمليات التعويض مشابهة للعمليات التي تحدث أثناء التكوين الجنيني ولكن وجود الأنسجة الناضجة والهرمونات وخلافه في الحيوان الناضج يمنع إعتبار عمليات التعويض صورة من النمو الجنيني.

وإذا استعرضنا عملية تعويض في أبسط صورها وهي صورة التئام جرح في حيوان النيوت (برماتي ذيلي) مثلا نجد أنه إذا أزيلت قطعة من الجلد في بركة كبيرة في السن نوعا تفلق الفتحة ويلتئم الجرح بعد ٢٤ ساعة فقط وبالمراقبة الدقيقة نجد أن العملية تمر بعدة مراحل أولها حدوث تجمع كثيف للخلايا عند حافة الجرح من جميع الجهات وتنزلق هذه الخلايا على منطقة الجرح لتغطيها كلها بعد أن وجهت البشرة المحيطة هذه الخلايا إلى حافة الجرح.



شكل 15 : يوضح الأصل الحلي للخلايا التعويضية في النيوث فإذا شصعت منطقة الركبة اليسرى وأجريت ثلاثة تجارب للاستئصال في مناطق مختلفة من مناطق مختلفة في كلا الطرفين نجد أنه :

- أ - الاستئصال في منطقة الرسغ يعوض في الطرفين
- ب - الاستئصال في منطقة الركبة يعوض في الطرف الأيمن فقط
- ج - الاستئصال في منطقة أعلى الركبة يعوض في كلا الطرفين



شكل 16 :

يبين أن مدونات العقاب ليست أساسية لتعويض الأجزاء البعيدة لهيكل الطرف

- أ - هيكل الطرف الأمامي للنيووث
- ب - إزالة عظمة العضد ثم استئصال الطرف مروراً بمنطقة العضد.
- ج - تعويض المناطق البعيدة بما فيها الهيكل.

وينتج عن هجرة الخلايا المستمر إلى الجرح (حتى بعد التئامه) إلى كثافة أكثر من المعتاد في هذه المنطقة وهذا يمكن التأكد منه عن طريق عد الخلايا. فبعد حوالي ٣ - ٤ أيام من العملية يكون عدد خلايا البشرة في وحدة المساحة في منطقة الجرح أكبر منه في المنطقة المجاورة أو في منطقة بعيدة نسبياً عن الجرح وقد وجد أن عدد الخلايا الكبيرة الواضحة يبلغ ١٥٠٪ من العدد الأصلي وهذا النمو الذاتي يقابله نقصان في عدد الخلايا المحيطة بالجرح مباشرة والتي تبلغ كثافتها في المنطقة الحافية ٥٠٪ فقط من كثافة المنطقة العادية البعيدة عن الجرح وتمتد المنطقة الحافية إلى مسافات كبيرة محيطة بالجرح يحيط بها من الخارج مناطق ذات كثافة خلوية عادية.. وتلاحظ هذه الاختلافات بسهولة بالفحص الميكروسكوبي حيث نجد في الجلد العادي طبقتين من الخلايا الغنية بينما تحتوي البشرة المنتفخة في منطقة الجرح على أربع طبقات والمنطقة المحيطة بالجرح والمستنزفة علي طبقة واحدة من الخلايا ومن هذا يتضح أن عملية إغلاق جرح في البشرة ليست ناتجة عن زيادة محلية في إنقسام الخلايا ولكن عن هجرة الخلايا من المناطق المحيطة بالجرح ثم بعد إنتهاء عملية الهجرة هذه أي بعد حوالي أسبوع تنشأ عمليات مساعدة من بينها عملية إنقسام في الخلايا في المنطقة المستنزفة (شكل ٤٢).

وصورة التئام الجروح هذه لا تسرى فقط على الحيوان النبوت ولكنها ظاهرة توجد في التئام البشرة عموماً حتى في الحشرات. وتبرز هنا بعض التساؤلات عن الدافع الذي يحرك الخلايا البعيدة وما الذي يهدها إلى الطريق إلى حافة الجرح ؟

ربما كان هناك منشطات خاصة يطلق عليها أحيانا اسم هرمونات الجرح وهذه تتكون أولاً في منطقة الجرح ثم تنتشر من خلية إلى أخرى لتتقل الرسالة وبذلك تؤثر في خلايا بعيدة لتجعلها نشطة وتهاجر في اتجاه مواد الجرح الأكبر تركيزاً يلي ذلك عمليات إنقسام في الخلايا خصوصاً في المنطقة المستنزفة التي تظهر فيها قدرة الخلايا على التصرف تجاه الاضطرابات التي تحدث في الكائن الحي.

### من أين تنشأ الخلايا التعويضية :

أثبتت تجارب التعويض أن أطراف البرمائيات الذيلية يمكن منعها من التعويض إذا عرضت لجرعات مناسبة من الأشعة السينية فإذا شعع الحيوان كله أو طرف ما بمفرده فإن الأجزاء المشععة تفضل في التعويض أما إذا منع الطرف من الأشعة بواسطة حاجز

رصاص وشع بقية الجسم فإن هذا الطرف يعوض طبيعياً. وإذا شمع جزء فقط من الطرف مثل منطقة الركبة مثلاً فإن هذا الطرف يعوض لو استأصل فوق أو تحت المنطقة المشععة ولا يعوض إذا كان مستوى القطع ماراً بمنطقة الأشعاع (شكل ٢) كما يوقف التعويض إذا عرضت منطقة القطع لبعض المواد الكيميائية. وهذا يدل على أن الأنسجة التعويضية لا بد أن تنشأ من المنطقة المجاورة مباشرة لمستوى الاستئصال.

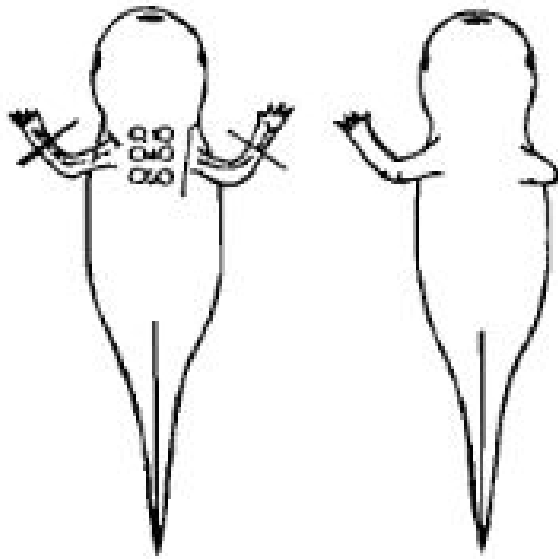
ولكن هل كل نسيج في المنطقة المعوضة ينشأ مباشرة أو غير مباشرة من النسيج المماثل له في منطقة الجرح؟ يصعب الإجابة على هذا السؤال لأنه في معظم الحالات التعويضية تتخذ المراحل الأولى شكل تجمعات من الخلايا على سطح الجرح تعرف في مجموعها ببرعم التعويض الذي لا يمكن التمييز بين خلاياه على الإطلاق فهم لا يشبهون الخلايا الأصلية التي كونتهم أو الخلايا التي سوف يتميزون لها فيما بعد عندما تتقدم عملية التكوين.

وقد أثبتت تجارب متنوعة أن نزع نسيج معين من منطقة الاستئصال أو جعل هذا النسيج غير قادر على الانقسام بواسطة الأشعة السينية في وقت مبكر للإستئصال لا يؤدي بالضرورة إلى فقدان هذا النسيج في الجزء المعوض فمثلاً إذا نزع عظمة العضد في الطرف الأمامي لبرمائي ذيلي فإن الطرف يظل بدونها مدى الحياة ولكن إذا استأصل الطرف بعد ذلك في منطقة تمر بالجزء الذي كانت تشغله عظمة العضد فإن الطرف المعوض سيحتوي على الجزء البعيد من عظمة العضد بالإضافة إلى عظام الساعد واليد (شكل ٤) وهذا يدل على أنه ليس من الضروري مقابلة كل نسيج بمثله في الجزء المعوض والعقب.

أما في الحيوانات اللافقارية فهناك أدلة قوية تؤدي إلى الاعتقاد بأن البرعم يتكون أساساً من خلايا تشبه الخلايا الجنينية الغير مميزة والتي تعمل كأحتياطي للخلايا يرجع له عند بداية عملية التعويض.

ومن الخصائص العجيبة للكثير من عمليات التعويض بما فيها عملية تعويض الأطراف في البرمائيات الذيلية هو دور الجهاز العصبي الرئيسي في مراحل التعويض الأولى فإذا نزع أعصاب طرف ما ثم استأصل هذا الطرف فإنه لا يعوض مطلقاً بل يضمم العقب ولكن يمكن أن يعوض هذا الطرف إذا زرع فيه قبل عملية الاستئصال امداد عصبي حتى لو كان من منطقة غير مماثلة للمنطقة المنزوعة وبذلك يصعب اعتبار

تأثير الجهاز العصبي مجرد نقل نبضات ذات نظام خاص ولكن تفسر وظيفته في عملية التعويض بأنها غذائية رغم أن طبيعة دورها مازالت غير معروفة. ودور الجهاز العصبي أساسى فى المراحل الأولى من تكوين البرعم بعدها يمكن للبرعم أن ينمو ويتميز حتى لو نزع الأَعْصاب منه. ومن الغريب أن اليرمانيات الذيلية التى تفتقد أطرافها للأعصاب فى حالتها الطبيعية (وبالتالى لم تعرف الأمداد العصبى مطلقا) يمكن أن تعوض هذه الأطراف فى غياب الأعصاب ولذلك يبدو أن الحاجة إلى الألياف العصبية تكتسب أولا بوجود الأعصاب كما لو كان ذلك نوعا من الإدمان (شكل ٤٧).



شكل ٤٧ : يوضح تأثير الأعصاب على التعويض

على اليسار يرقة النورث وقد أستأصل طرفاها الأماميان من منطقة الساعد وأزيلت أعصاب الطرف الأيمن بينما تركت الأعصاب اليسرى سليمة. وجد بعد عدة أسابيع أن الطرف الأيسر ينجح فى التعويض بينما يتآكل الطرف الأيمن

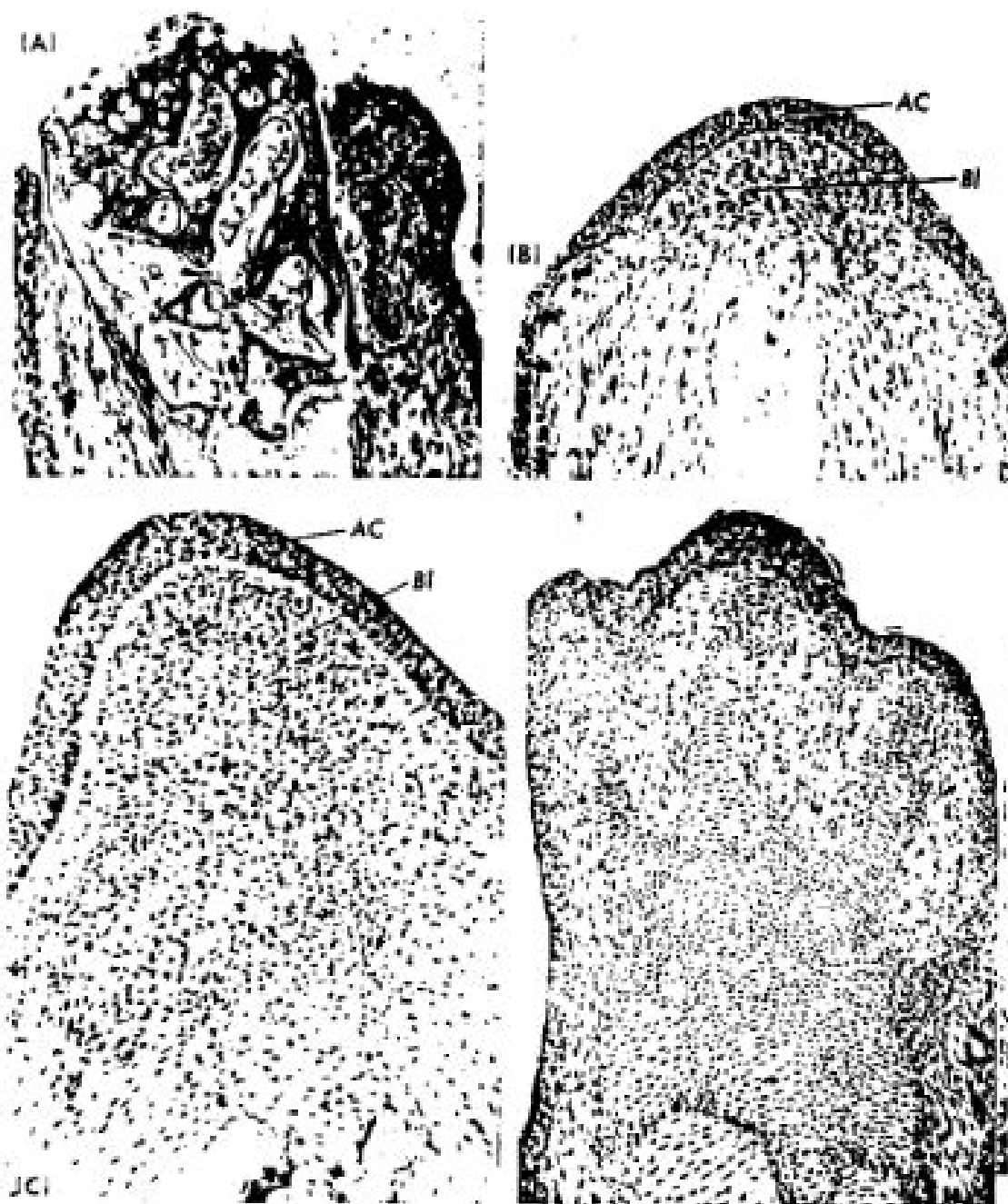
ونفس هذه العملية تحدث بشكل ما مع العظام.. فقد وجد أنه إذا أزيلت العظام كلية من العقب لايعوض هذا الجزء بشكل طبيعى ويبدو أن العظام تلعب دورا مهما فى تحديد النمط المحورى والحجم ولذلك إذا استبدلت عظام الطرف الأمامى الزند والكعبرة فى العقب بعظام العضد فإن الجزء المعوض يكون أطول من المتوقع.. كما يكون أقصر إذا استبدلت العظام القريبة بالعظام البعيدة ويبدو أن الجزء المعوض يقيس المسافة بين حافة الطرف والجسم من العظام الموجودة عند النهاية البعيدة عن الجسم للعقب بحيث أنه فى حالة الاستئصال من منطقة الساعد واستبدال الزند والكعبرة بعظمة العضد

يتصرف الجزء المعوض تقريبا كما لو كان القطع قد أُجرى في منطقة العضد . أما استبدال عظمة العضد بعظمة الفخذ فليس له تأثير على طول الطرف المعوض .

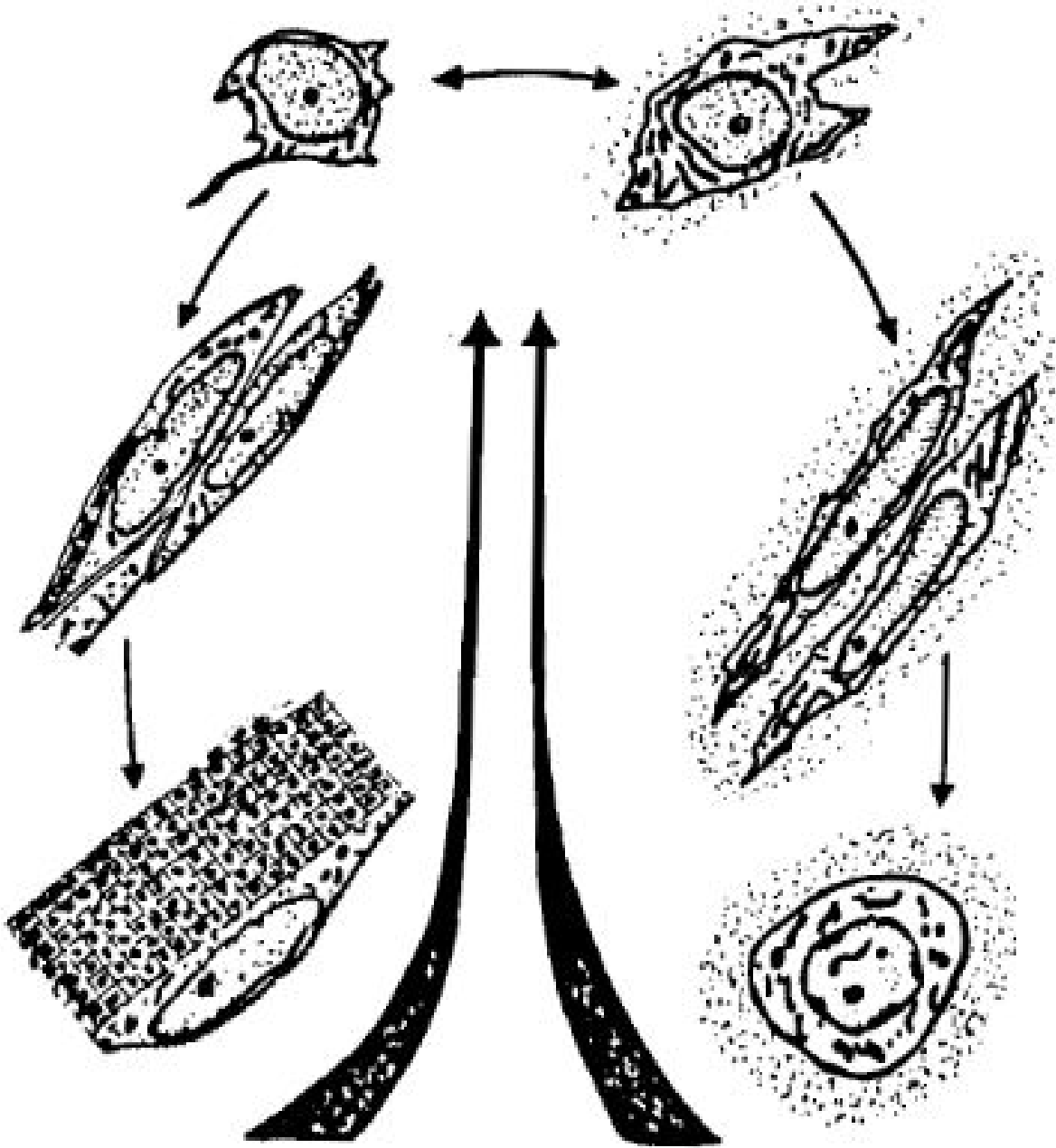
ومن الصعوبة اختبار الحاجة إلى العضلات في عملية التعويض ولكن هناك أدلة على أن العضلات تتحكم في طبيعة الطرف المعوض فأستبدال عضلات طرف حيوان برمائي ذيلي في منطقة العقب بعضلات ذيلية من نفس الحيوان يمكن أن يؤدي إلى تكوين عضو شبيه بالذيل في منطقة الطرف .

أما الجلد فيبدو أنه لازم لتعويض الأطراف رغم أنه لم تثبت أهميته في تحديد طبيعة الجزء المتكون فالأطراف المعوضة يمكن أن تتكون من أعقاب الأطراف المكسوة بجلد الذيل إلا إذا عرضت هذه الاعقاب للأشعة قبل زرع الجلد فيها حيث يتكون في هذه الحالة عضو شبيه بالذيل .

ويمكن الحصول على نتائج مثيرة للانتباه إذا سمح لعقبين طرفيين بالتعويض جنبا إلى جنب لتلتحم أطرافهما البعيدة أما إذا كان العقبان متوازيان فإن الأجزاء الجديدة البعيدة تكون مزدوجة وبتقليل الزاوية بين المحور الأمامي والمحور الخلفي للطرف تضمحل تدريجيا عملية الأزواج حتى زاوية محدودة يشترك عندها العقبان في مجموعة واحدة من التكوينات الطرفية وهذا يشير إلى وجود تأثير أمامي - خلفي في داخل العقب له دور في تحديد التكوين الأمامي الخلفي والذي يمكنه التفاعل مع أو الغاء تأثير مماثل قادم من عقب آخر .

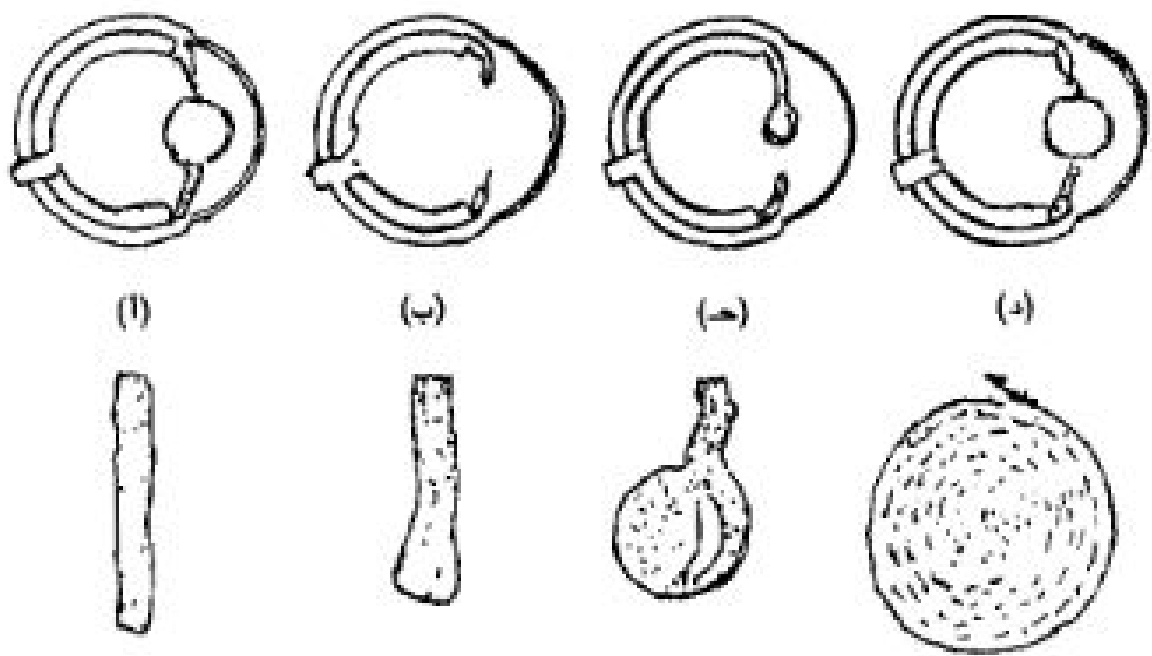


شكل ٤٨ : التغييرات في أنسجة طرف حيوان برمانى أثناء التعريض  
 أ - طرف مقطوع حديثاً ويظهر تراجع الجلد والعضلات عن العظام.  
 ب - الجرح بعد ١٦ يوماً وقد غطى بطبقة سميكة من الجلد تجمعت داخله خلايا البرعم.  
 ج - الجزء المعرض بعد ٢٢ يوماً وقد ظهر على هيئة برعم كبير بدأ في التميز.  
 د - الجزء المعرض بعد ٢٨ يوماً وقد أظهر بدايات الهيكل.



شكل 19 : رسم تخطيطي يوضح التغيرات في شكل خلايا البرعم الطرفي حيث تتميز أولاً إلى خلايا لحمية ثم عضلية فعضروفية أولية ثم إلى عضروف. وتفقد هذه الخلايا تميزها كما يوضح السهم وتتحول إلى خلايا ميزنشيمية عند استئصال الطرف.





شكل 50 : قطاعات تخطيطية في عين النبوت توضح تعويض وولف.

أ - العين الطبيعية قبل إزالة العدسة.

ب - إزالة العدسة ومايتبعها من اختفاء اللون من خلايا القرنية العليا.

ج - إنقسام خلايا القرنية العليا وتحويلها إلى عدسة بدائية.

د - انفصال عدسة جديدة من حالة القرنية.

### استعراض المراحل المختلفة لعملية تعويض طرف ما في البرمائيات الذيلية :

إذا استأصل الطرف الأمامي لحيوان النبوت فوق منطقة الكوع مباشرة نجد أنه بعد يوم واحد يغطى الجرح بالجلد وهذا يحدث بواسطة نمو خلايا البشرة فوق المنطقة المفتوحة أما الخلايا الداخلية المصابة وبقايا الخلايا في منطقة القطع فتؤكل بواسطة كريات الدم البيضاء الآكلة ثم تبدأ بعد ذلك عملية عجيبة تحت سطح البشرة المنقلبة. ففي منطقة القطع تبدأ خلايا الغضروف والعظام والعضلات والأنسجة الضامة في منطقة العقب في التفكك إلى خلايا منفصلة ويمتد هذا التفكك إلى أعلى الزراع ثم تتوقف هذه العملية بعد الحصول على كمية مناسبة من الخلايا وفي نفس الوقت الذي تتفكك فيه الخلايا من كتل الأنسجة الموجودة تفقد هذه الخلايا شكلها الوظيفي وتصبح غير متميزة حيث تصبح جميع أنواع الخلايا متشابهة يصعب تمييز أحداها عن الأخرى. وينتج عن هذا النمو الإنحلالى تكوين برعم التعويض المتكون أولاً من خلايا متشابهة وتتصرف هذه الخلايا تماماً مثل الخلايا الموجودة في برعم طرفى جنينى ينمو فى

الحجم بالإنقسام الخلوى ويبرز إلى الخارج وبالتالي تتكون تدريجيا القطعة المفقودة وفى نفس الوقت يظهر غضروف وعظام ومفاصل وأوتار وعضلات جديدة وتتميز هذه بدورها داخل الجزء المعوض وبهذه الطريقة يحصل النبوت على طرف أمامى طبيعى مرة أخرى (شكل ٤٧).

ومن أهم الخطوات فى هذه العملية هو قدرة الخلايا الكبيرة فى السن والمميزة فعلا على التحول مرة أخرى إلى حالة تمكنها من الإنقسام السريع وقيام الخلايا المنقسمة بدور فى عمليات النمو الجديدة الثانوية. ويبرز هنا سؤال هام وهو ما إذا كانت خلايا البرعم يحدث لها عملية عدم تميز كاملة أو جزئية؟ وهل هناك قيود على أنواع الأنسجة التى يعطيها كل نوع من الخلايا؟ ويصعب الأجابة على هذه الأسئلة للرتب المختلفة من الحيوانات فمن المحتمل مثلا أن خلايا البرعم الناتجة من الجلد فى منطقة العقب تعطى عضلات أو هيكل فى المنطقة المعوضة ولكن قليل من النزف فى المنطقة يجعل هذا الافتراض غير قاطع فى هذه الحالة لأن عملية النمو التعويضى تشمل عملية عدم تميز إلى خلايا متعددة القدرات مثل تلك الموجودة فى البراعم الجنينية الأولية يتبعها تميز مرة ثانية فى إتجاه جديد (شكل ٤٨) وهناك بعض التجارب تثبت بالقطع تحول نوع معين من الخلايا إلى نوع آخر مختلف كلية أحداها التجربة القديمة التى يزال فيها عظمة العضد من الطرف الأمامى بعد استنصاله وقد وجد بعدها الجزء البعيد من الطرف الأمامى سوف يعوض وبداخله كل الأجزاء الهيكلية الأساسية بشكلها الطبيعى وبالتالي فإن تعويض الهيكل ممكن حدوثه حتى ولو لم تأخذ الأجزاء الهيكلية دورها فى تكوين برعم التعويض. ويظن أن خلايا الأنسجة الضامة التى لها القدرة على تكوين العظام قد ساعدت فى هذه العملية وهذا التحول فى الخلايا يحدث فعلا بصورة اوضح فى عملية تعويض عدسة العين فمن المعروف أن المدرسة البلورية للحيوان الفقارى لها منشأ جنينى محدود ومخالف للكأس البصرى المجاور لها والذى يدفعها للتكوين وخلاياها على درجة عالية من التميز فى الشكل والتركيب الكيميائى ومع ذلك فإنه فى بعض أنواع البرمائيات إذا ازيلت العدسة جراحيا فإنها تعوض بعملية تسمى تعويض وولف نسبة إلى مكتشفها حيث تتكون العدسة الجديدة من خلايا الحافة العليا للقرنية التى تكون فى الأخرى على درجة عالية من التميز (شكل ٤٩) وهذه إحدى الحالات الواضحة لتغيير الشكل المميز حيث تتخلى الخلايا عن تميزها الاصلى وتتبنى شكل جديد مما يزيد حدوث إنعكاس فى خلايا نسيج ما إلى حالة حرة بالفعل يكون الطريق مفتوح أمامها لتمييز إلى أى نوع معوض من أنواع الأنسجة الموجودة فى سلالتها. وباستعراض هذه

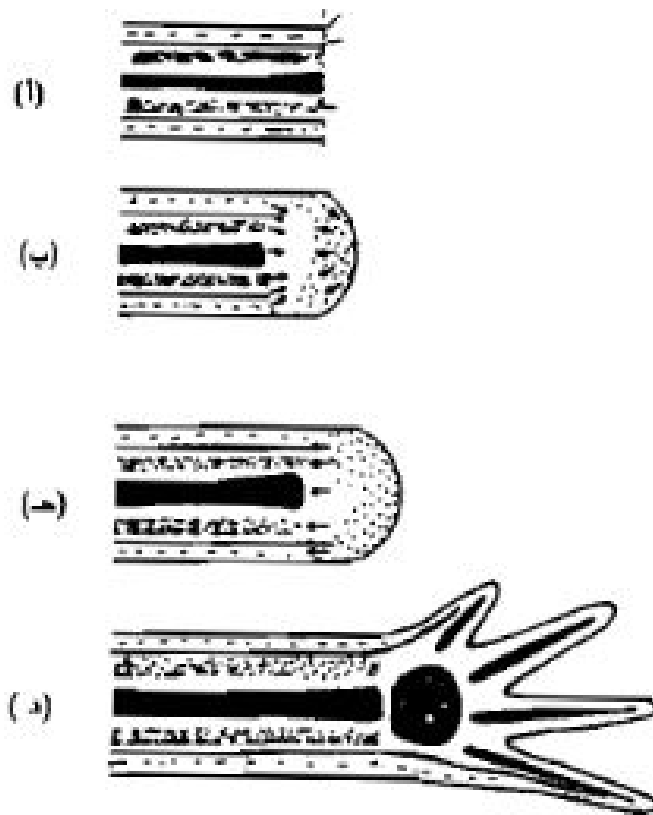
العملية بتفصيل أكثر نلاحظ أن خلايا القزحية المتميزة والمليئة بالحبيبات الملونة تبدأ في عملية عدم تميز بمجرد أن تتلقى الرسالة الكيميائية بأن العين لم يعد بها عدسة فتبدأ أولاً تفقد حبيباتها الملونة ثم تدخل في عملية إنقسام لتكون برعم العدسة ثم تتميز إلى خلايا العدسة وهذا هو تحول حقيقي في الخلايا ممكن أن يقال فيه أن مجموعة خاصة من الخلايا تتحول من برنامج وراثي ظاهر إلى آخر حيث تفقد الجينات النشطة لتكوين حبيبات ملونة قدرتها على العمل وتصبح جينات أخرى نشيطة بعد كمونها لتخلق بروتينات خاصة بالعدسة.

والعمليات الجارية في براعم التعويض يمكن مقارنتها بالعمليات المنظمة التي تحدث في الأجهزة الجنينية الخلوية فالمادة المتكونة توضع حسب خطة محددة بحيث تنشأ أجزاء كاملة من أجزاء مقطوعة بلانظام او منجمعة بطريقة عشوائية فبرعم نصف طرف يمكن أن يعوض طرف كامل وبرعمين للتعويض يكونان طرف واحد فقط بعد اندماجهما ويمكننا افتراض ان مستويات البناء الجنيني لا تختفى بعد إنتهاء المراحل الأولية ولكنها تظل موجودة في الحيوان البالغ فمناطق الأطراف التي ترشد نمو الأطراف في الجنين تظل موجودة في الطرف المكتمل كقدرة منظمة كامنة.

ومما يثير الدهشة في المراحل المختلفة للتعويض أن مرحلة تفكك الخلايا تتوقف بعد وقت معلوم وأن التميز والنمو التاليين في البرعم يبدآن في الوقت المناسب وهناك مظاهر تدعو للإعتقاد بأن برعم التعويض الأنبوبي الشكل يعطى تأثير معطل للأنسجة الموجودة أعلى الزراع لتبطيء أي تفكك زائد كما أن الجهاز العصبي له دور في هذا الجدول التنظيمي المناسب بحيث إذا نزع العصب القادم من الحبل الشوكي إلى الزراع في التجربة السابقة مع استئصال الزراع فإن تفكك الخلايا يبدأ من سطح الجرح ويستمر في إتجاه أعلى الزراع ويفشل في التوقف وتفشل أجزاء الأنسجة في الالتحام لتكوين برعم وتحل الخلايا كلية وتمتص وبالتالي يختفي الجزء الباقي بعد الاستئصال تدريجياً امام أعيننا.

ويحدث نفس الشئ بعد المعاملة بالأشعة السينية فإذا عرض الطرفان الأماميان لحيوان النيوت إلى جرعات متساوية من الأشعة السينية ثم أزيلت اليد في جانب واحد فإن الجزء الباقي يدمر كلية بينما يبقى الطرف الأخر سليماً برغم تعرضه للأشعاع ومن الواضح أنه يقطع المنطقة البعيدة تبدأ العملية الأولى من التعويض وهي تفكك الخلايا وتستمر هذه العملية دون توقف لأن العملية المصححة المضادة لبرعم التعويض تفشل في

الظهور ومن هنا يظهر أن نجاح التعويض يعتمد على التنظيم الدقيق بين عمليات الهدم والبناء. ومن المحتمل أن وظيفة الأعصاب هو المساعدة في نقل المواد التي تتكون في أجسام الخلايا العصبية الموجودة في العقد العصبية (خلايا حسية) أو في الحبل الشوكي ذاته (خلايا حركية) والألياف العصبية الناشئة من هذه الخلايا تصل إلى الحافة وفي هذه الحالة إلى برعم التعويض ومن المعلوم أن المواد تنقل إلى الخارج دائما في هذه الألياف. ومهما تكن طبيعة الأشياء التي تحملها الأعصاب إلى براعم التعويض فهي بالتأكيد لا يمكن الإستغناء عنها.



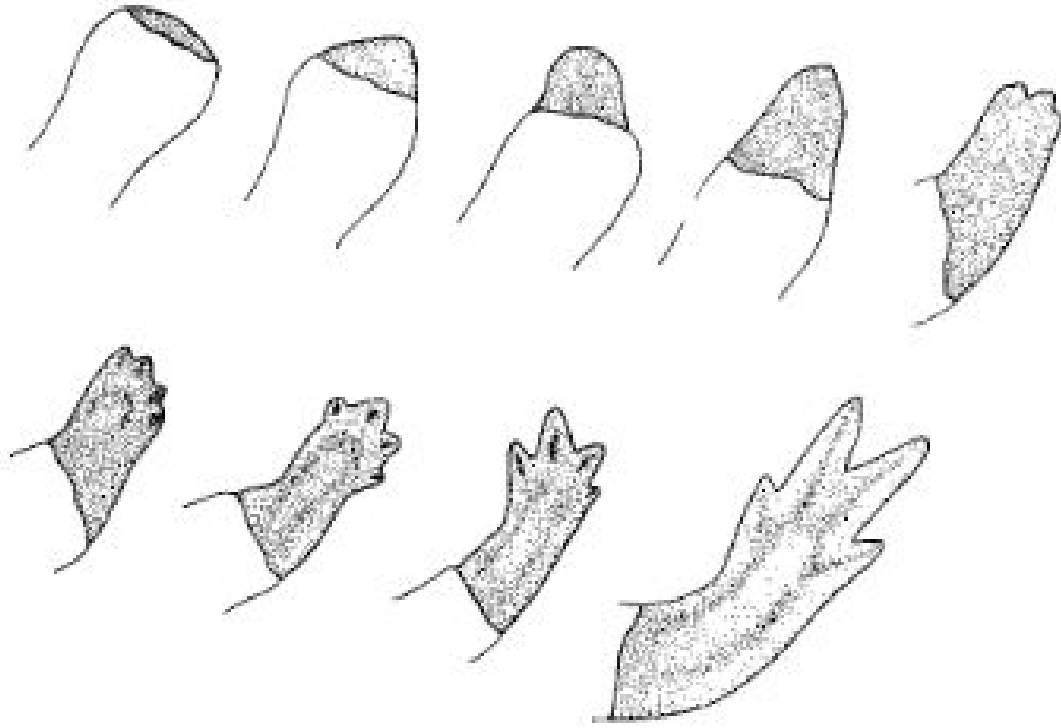
شكل ١١ : رسم تخطيطي للتغيرات في الأنسجة بعد قطع طرف يرقعة السلمندر.

أ - قطع نظيف يمر بالبشرة والأدمة والنسيج الضام والعضلات والعظام (الأعصاب والأوعية الدموية غير موضحة).

ب - تكوّن البرعم الذي لا يعرف مصدره بالضبط ولكنه ناتج عن عدم تمييز لخلايا مختلف الأنسجة.

ج - تتوقف الخلايا عن عدم التمييز وتبدأ في التمييز مرة أخرى إلى الأنسجة المختلفة.

د - استكمال الطرف وتميز البرعم إلى الجزء المفقود.



شكل ٥٢ : تمييز الطرف الأمامي في حيوان برماني مستاصل عند منطقة الكوع وما يتبعه من تكوين طرف أمامي كامل.

ومن الغريب أن براعم الأطراف الجنينية لا تحتاج إلى وصلات عصبية من أجل نموها فهي تنمو للخارج وتتميز إلى أطراف طبيعية حتى لو أزيل أحد الأعصاب أو كلها جراحيا وهذا يؤكد أن براعم النمو الجنينية لها احتياجات وقدرات تختلف في بعض جوانبها عن هذه الموجودة في براعم التعويض المتكونة فيما بعد.

ويوضح شكل ٥٠ وشكل ٥١ التغييرات التي تحدث في أنسجة الطرف الأمامي والتغييرات في شكل الطرف عموماً في البرمائيات على التوالي.

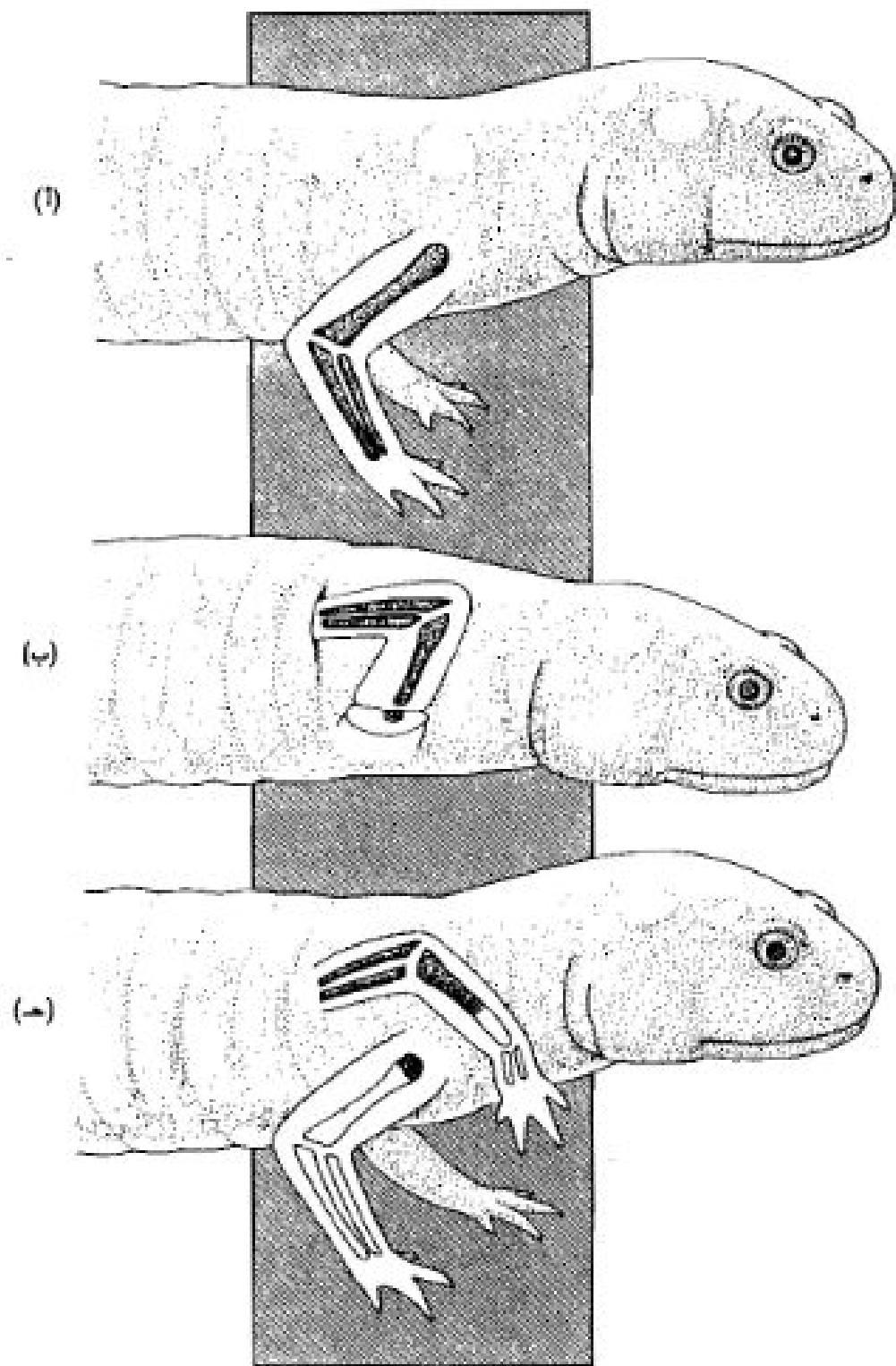
### براعم الأطراف تكون دائماً الأجزاء البعيدة :

عندما يعوض طرف ما فإن البرعم دائماً يكون بالترتيب الأجزاء الأكثر بعداً بادئاً بالأجزاء المناسبة لمستوى القطع ويبندو في معظم الأحيان أن الوضع القريب - البعيد يحدد بالنسبة لبقية الجسم فإذا نزع طرف بطريقة معكوسة (الجزء البعيد إلى الداخل) فسيكون طرف ذو وضع طبيعي بالنسبة للجسم (ولو أنه معكوس بالنسبة لمكان القطع) شكل ٥٢ وإذا سمح لسطحي جرح بالتعويض معاً كما في حالة عمل قطع عرضي لمنتصف المسافة في طرف واستمر سطحي الجرح في التعويض فإنه يتكون طرفين يعيدان أحدهما صورة معكوسة للأخر كما لو كانا في مرآة.

---

ويوجد مثال آخر يوضح أن التعويض يكون دائما الأجزاء البعيدة عن مستوى القطع وهو أنه إذا استأصل طرف بواسطة قطع علي شكل حرف V فإن سطح الجرح يمكن أن يكونا أجزاء طرفين جديدين وهما اللذان يقعان عادة إلى الخارج بالنسبة لمستوى الجرح كما أنه إذا فصلت قطعة من طرف بواسطة قطعين ووضعت تحت الجلد بطريقة تسمح للسطح القريب والسطح البعيد معا بالنمو فإن السطحان يكونان الأجزاء الناقصة البعيدة بالنسبة للمستويين أي أنه سيتكون طرفان طرف بعيد عند كل مستوى من المستويين.

وطبيعة العوامل الموجودة علي سطح الجرح والتي تؤدي إلى نمو خارجي محدد غير معروفة حتى الآن.

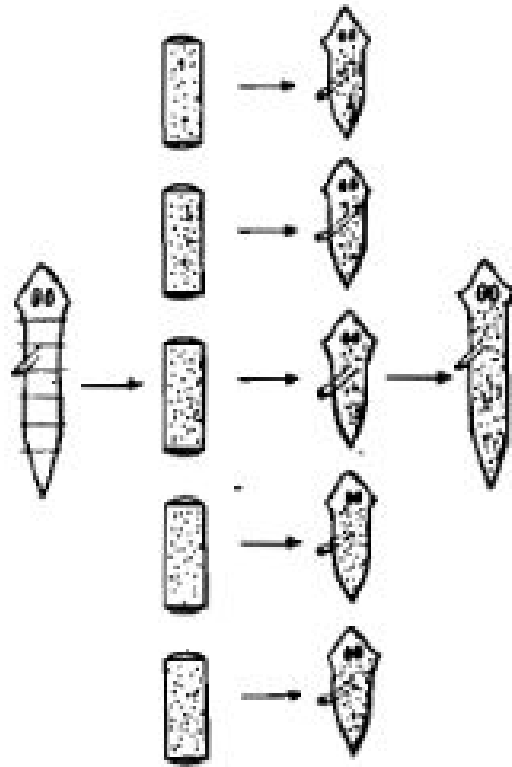


شكل ٥٣ : انعكاس الوضع في طرف معوض لحيوان اللامبستوما

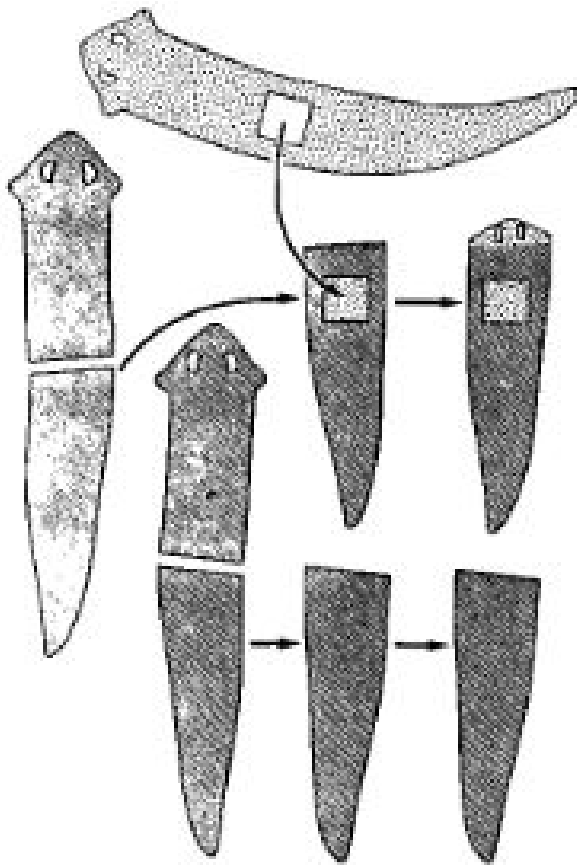
أ - الهيكل الطبيعي للطرف الأمامي.

ب - استئصال اليد ثم غرس العقب في عضلات الظهر وبعد الالتئام يقطع الطرف مرة أخرى من تحت الكتف.

ج - يعوض الطرف الظهرى المزروع طرفاً جديداً معكوس الوضع والعقب الطبيعي يعوض الأجزاء الطرفية في ترتيب سليم.



شكل 54 : التعويض في نودة  
البلاناريا المفلطحة الى  
اليسار : فصل الرأس والذيل  
وقطع الجسم إلى خمسة  
أجزاء متساوية الطول.  
في المنتصف : كل جزء بدأ  
في التعويض فكون نودة  
صغيرة ولكن كاملة تنمو كل  
منها لتعطي نودة بالغة.  
لاحظ أن كل جزء احتفظ  
بالوضع الذي كان له في  
النودة الاصلية.



شكل 55 : استعادة القوى  
التعويضية في البلاناريا  
المشعة بالأشعة السينية  
فجزء مشع من نودة ومطعم  
بقطعة من نسيج غير مشع  
يمكن له أن يعوض بينما  
لايعوض الجزء الغير محتوي  
على مثل هذا التطعيم.



## هل الأعضاء المعوضة لها القدرة على التنظيم الذاتي؟

كان يظن فيما مضى أن البرعم أو الجزء المعوض ليس له القدرة على التنظيم الذاتي ولكن الدراسات الحديثة أظهرت عكس ذلك فإن البراعم المعزولة لها القدرة على التمييز وتكوين أشكالاً طرفية ذات تركيب طبيعي وأظهر ستوكم أن البراعم الأولية للبرمائيات المعزولة قبل أن تظهر عليها أي علامات من علامات التمييز والمزروعة في أواني خاصة لها القدرة على تكوين عضلات وعضاريف ولاحظ أن التمييز يكون ضعيفاً إذا أُضيف للمزرعة جزء من العقب أكثر مما لو زرع البرعم بمفرده ولكن لوحظ أن عملية التمييز في المزرعة تفتقر إلى الشكل المحدد بينما لو زرعت براعم أولية مماثلة في الزعنف الظهرية فإن التمييز المحدد يظهر رغم أنه قد تفقد عادة أو تلتحم بعض الأجزاء الهيكلية وبالمثل فإن نقل البراعم أو الأعقاب وزراعتها في مكان آخر من الجسم ينتج عنه عملية تعويض طبيعية. والبراعم المستخدمة في هذه التجارب تؤخذ عادة بعد قطع الطرف الأمامي من منطقة العضد ولوحظ أن البرعم الطرفي الأولي ونصف البرعم القريب كلاهما يعطيان مكونات اليد أما إذا كان البرعم أكبر سناً فإن المنطقة القريبة سوف تعطي أجزاء من الساعد.

وقد قام دي بوث بزراعة العضد الأولية في منطقة الجزع أو حجاج العين ووجد أن البراعم المزروعة المفردة تكون أجزاء الساعد واليد ولكن بجمع عدة براعم متماثلة معا وزراعتها فإن أجزاء من العضد تتكون أيضاً وبالمثل حصل على نفس النتيجة إذا زرعت البراعم المجذافية التي بدأ فيها إعادة تكوين الهيكل إذ وجد أن زراعة برعم واحد يعطي أجزاء يديوية وعدة براعم متجمعة معا تعطي أجزاء من الساعد بالإضافة إلى عظام اليد.

ومما سبق يتضح أن البرعم له القدرة على التمييز الذاتي وأنه (مثلته في ذلك مثل بدايات تكوين الأطراف) ليس سابق التجهيز لأن البراعم المتحدة من نفس المستوى تنظم نفسها لتكوين أجزاء قريبة ولكنه على العكس من برعم الطرف فإن برعم التعويض له قابلية على تكوين الأجزاء البعيدة أولاً. ومع قدرة البراعم الفائقة على التعويض الذاتي فإن منطقة العقب أيضاً مهمة في عملية التعويض الطبيعي لأن برعم التعويض المتروك في مكانه يعطي فقط التكوينات المزالة أو المستأصلة.

وهناك احتمال أن الجزء القمي من طبقة الجلد للبرعم له مميزات مشابهة للعرف الأكتودرمي لبرعم الطرف ولسوء الحظ فإن أكتودرم برعم التعويض يعوض بسرعة إذا

أزبل مما يصعب على العلماء عملية دراسته ولكنه وجد أنه بزراعة الغطاء القمى لبرعم التعويض في قاعدة برعم تعويض آخر فإنه يمكن الحصول على أجزاء بعيدة مضاعفة.

### دور الخلايا المختزنة في التعويض :

توجد في كثير من اللافقاريات وخاصة في الجوفمعويات والمفلطحات ومعدية الأشواك الحلقية خلايا مميزة شكلها مثل دمة العين وبها نواة كبيرة ونويات واضحة وسيتوبلازمها غنى بالعامض النووي ( ر . ن . أ ) وتظهر هذه الخلايا أحيانا في مجاميع أو أعشاش وأحيانا أخرى تكون متفرقة في النسيج الميزودرمى كما أنها قد تتوزع بنظام حلقى أشعاعى وتعرف هذه الخلايا بعدة أسماء منها الخلايا المجددة أو الخلايا البيئية وكثير من الدارسين لعملية التعويض يعتبرونها خلايا مختزنة تستخدم عند الحاجة في عملية التعويض.

وفي حيوانات الهيدرا العادية تظهر الخلايا البيئية في أعشاش ولكن لاتستخدم هذه الخلايا في التعويض وتختفى بعد الأشعاع بالأشعة السينية أو بعد المعاملة بمركبات تنتمى إلى مجموعة النيتروجين موستارد ومع ذلك تستطيع الهيدرا أن تقوم بعملية التعويض مرارا ولكنها تموت بسبب الجوع لأن الخلايا البيئية هي مصدر الخلايا الخيطية التى تحل محل الخلايا الخيطية المفقودة أثناء عملية صيد الفريسة وبالتالي لاتتكون خلايا جديدة ولايمكن استيعاب طعام جديد .

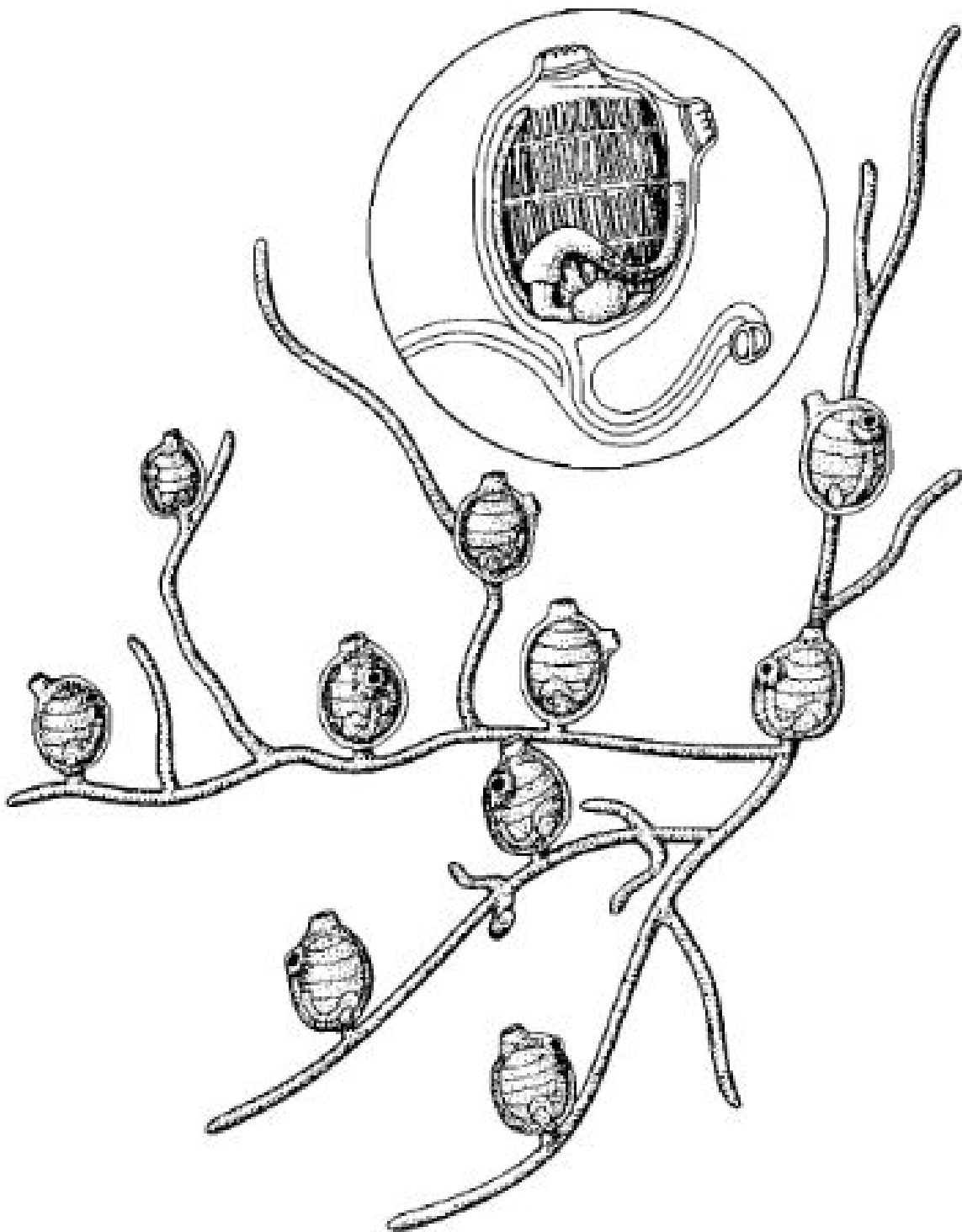
وتسمى الخلايا المختزنة في الديدان المفلطحة بالخلايا المجددة وتتجمع هذه الخلايا على سطح الجرح بعد عملية الاستئصال وتكون عقب التعويض الذى تنقسم خلاياه ويتميز إلى الأجزاء المفقودة وبعد التعويض للأشعة السينية تتوقف عملية التعويض عن الظهور ولكن القوى التعويضية يمكن رجوعها إلى حيوان مشمع بواسطة زرع قطعة من نسيج يحتوى على خلايا مجددة من بودة غير معاملة شكل ( ٥٤ ) والاستئصال في موضع بعيد عن النسيج المزروع يتبعها عادة التعويض بعد فترة تأخير تتطلبها هجرة الخلايا المجددة وانقسامها من النسيج المزروع إلى الحيوان المستنزف.

ويظل رغم ذلك الإحتمال قائم بأن الخلايا المجددة تنشأ من إعادة تميز خلايا الأنسجة فقد أوضح بعض العلماء حديثاً أن أحداث جرح فى بودة مفلطحة يسرع من عملية انفصال خلايا غدية من الأمعاء وأندماجها فى النسيج الميزودرمى حيث تأخذ هيئة

الخلايا الجديدة وقد قدم احد العلماء صورا بالميكروسكوب الألكترونى تظهر أن الخلايا العضلية فى الديدان المفلطحة يمكنها أن تتحول إلى خلايا جديدة وبالتالي فمن المحتمل أن يكون هناك مختزن من خلايا مختصة فى هذه الديدان ولكن الخلايا التعويضية تأتي من خلايا نسيجية متنوعة لها القدرة على إعادة التميز إلى خلايا تعويضية ذات قدرات متعددة وهذا يفسر إعادة القوى التعويضية لدودة مفلطحة مشععة بواسطة قطعة نسيج طبيعية مزروعة تمدها بخلايا تعويضية كما أنها قد تنتج أيضا من عوامل غير خلوية من النسيج المزروع التى تعيد القوى التعويضية إلى أنسجة العائل وهذا الإحتمال لا يبدو بعيدا .

وحيوانات الاسيديا (نوات الرداء) لها قوى تعويضية عالية تختلف من نوع إلى نوع فيتكون حيوان جديد وفعال أو زهرة من جزء صغير مثل جزء من البشرة مع قطعة من نسيج طلائى من الحجرة المجاورة للخياشيم أو المحيطة بالقلب شكل (٥٥) وفي الأنواع التى تتكاثر بالتبرعم فإن جزء من البشرة مع جزء من الحاجز الذى يفصل تيار الدم الخارجى عن الداخلى فى الزوائد يمكن لها تعويض حيوان كامل ولأن كل الأجزاء التعويضية تحمل خلايا دموية يحتمل أن يكون لهذه الخلايا الدموية دورا فى عملية التعويض مشابها لدور الخلايا فى الديدان المفلطحة أو عديدة الأشواك .

وقد فصل أحد العلماء على شريحة زجاجية أفرادا زهرية من حيوان البروفورا الأخضر ( من الردياتيات) مع أجزاء ملاصقة من الزوائد وترك هذا التحضير جانبا فأنظهر نموا من الزوائد وكون زهرا جديدا ولكن عندما شمع الجزء المفصول بـ ٥٠٠٠ رونتجن من الأشعة السينية اختفت الخلايا الليمفية (احدى مكونات الدم) فى خلال يومين ثم ماتت العينة دون تكوين براعم أخرى شكل (٥٦) ثم قام هذا العالم بحقن بعض العينات المشععة إما بدم كامل أو اجزاء مختلفة منه من زوائد غير مشععة ووجد أنه إذا استخدم الدم كله أو الخلايا الليمفية بمفردها يظهر التبرعم والزهر الجديد بنسبة عالية وكلما زاد عدد الخلايا الليمفية المحقونة زادت سرعة تكوين البرعم الأولى مما يوحي بأن الخلايا الليمفية من المحتمل أن تضيف خلايا أساسية فى الزهر الجديد .



شكل ٥٦ : مستعمرة رداثيات تنتج زهر فردي على السيقان المتفرقة على فترات.

## عملية البتر الذاتي :

عملية البتر الذاتي وهي أن يبتر الكائن الحي جزء من جسمه بنفسه ليتغلب على خطر داهم مثل انفصال الذيل في السحالي هي عملية تلقائية وسريعة. وقد يكون العضو المبتور مخلباً أو زراعاً أو قدماً أو زيلاً فالجرادة مثلاً تترك رجلها وتنطلق في الفضاء إذا أمسكها أحد من هذا الطرف كما أن نجوم البحر تترك أحد أزرعها الخمس لو قبض عليها منها والفأر يسلخ جلد ذيله إذا أمسكه أحد منه ثم بعد ذلك يعوض الجلد.

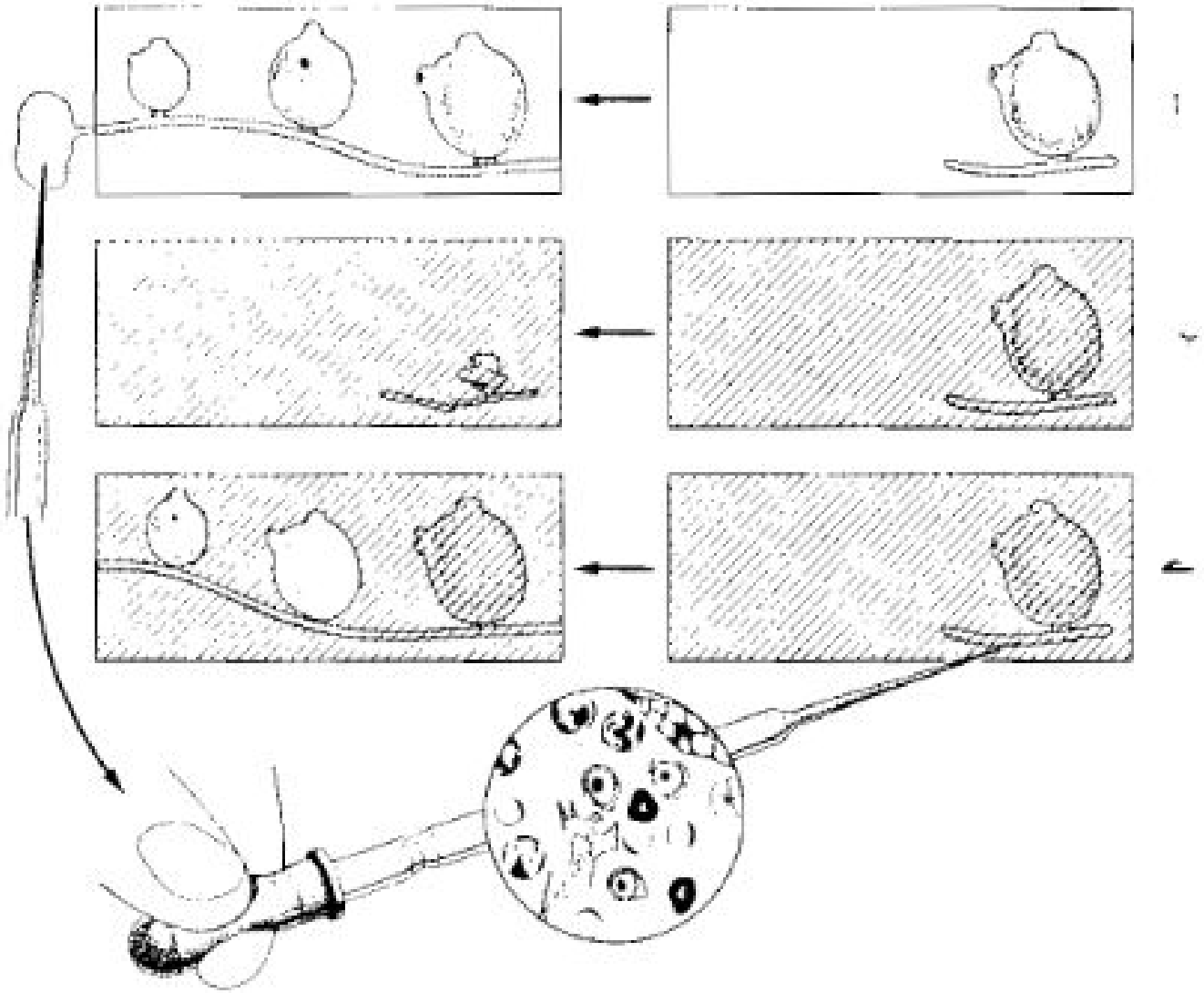
ومن أغرب ظواهر البتر الذاتي تلك التي تحدث في الكابوريا أو سرطان البحر فهناك نوع له مخلب طويل وآخر ضامر فإذا حدث وتعرض المخلب الكبير لحادث ما فإنه يسقط تلقائياً في حين أن المخلب الضامر يبدأ في النمو حتى يصل إلى طول وحجم المخلب المبتور وفي الوقت ذاته يعوض السرطان المخلب المبتور بنمو جديد حتى يصبح في حجم المخلب الضامر وتعود الأمور إلى طبيعتها مع ملاحظة أن المخلبين قد تبادلا موقعيهما فيصبح المخلب الأيمن الضامر مخلباً أيسر ضخماً والعكس صحيح.

وعملية البتر الذاتي أيسر في جراد البحر أو الجنبري عنها في الكابوريا فقد لوحظ أن بعض هذه الكائنات يبتر مخلبيه أو أحدهما فقط عند مفصل محدد كأنما هذا المفصل قد تم تجهيزه مقدماً لعملية البتر الذاتي وهي عملية لا ارادية تتحكم فيها ميكانيكية عصبية بدليل أنه لو دمرت هذه الميكانيكية بأية وسيلة من الوسائل (وبحيث يبقى الحيوان سليماً) فإن عملية البتر الذاتي لا تتم في هذا الجزء نتيجة لتدمير الأعصاب المسئولة عن ذلك.

وتعليل هذه الظاهرة يرجع إلى رغبة الكائن الحي في التضحية بالجزء لإنقاذ الكائن الحي ككل. والكائنات البحرية المعروفة باسم خيار البحر تلفظ كل أعضائها الداخلية بما في ذلك القناة الهضمية لو حاول أحد امساكها ويستطيع خيار البحر أن يعوض أعضائه الداخلية فيما بعد.

## العوامل المنشطة والمثبطة لعملية التعويض :

على الرغم من أن مستوى القدرة التعويضية لحيوان ما تكون محددة بتركيبية ودرجة تميز أنسجته أو مراحل نموه الشخصي وبعده عوامل أخرى فإن هذه المقدرة ممكن زيادتها أو تقليلها بالعوامل البيئية المحيطة أو بمعاملات خاصة يتعرض لها الحيوان.

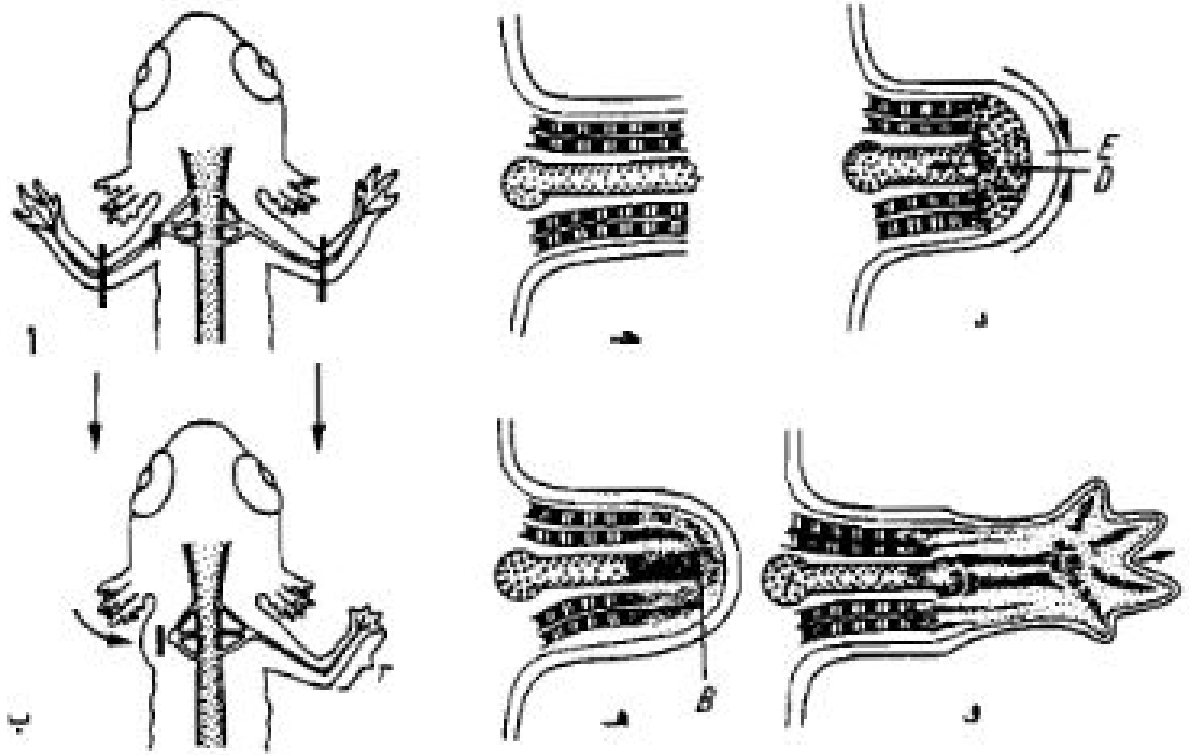


شكل ٥٧ : تأثير الخلايا الدموية على تكوين المستعمرة في الرذائيات المشععة

أ - جزء غير معامل من ساق وزهرة تنمو طبيعياً.

ب - جزء معامل مشعع يتأكل ويموت.

ج - جزء مشعع منقول له خلايا دموية غير مشععة ينمو وينتج زهر جديد.



شكل 5A . تعويض الطرف الأمامي ليرماني زيلس :

أ - الفطمان يوضعان مكان الاستئصال حيث نزع من جهة اليسار الأمداء العصبية

ب - تعويض الطرف الأيمن وتآكل الأيسر

ج - تتابع الحوادث التالية للاستئصال

د - تكوين الخلايا الغير مميزة

هـ - تكوين البرعم

و - نمو الجزء المعوض وتكوين طرف كامل بداخله الهيكل.

فعملية التعويض مثل كل العمليات البيولوجية الأخرى تعتمد على درجة الحرارة فزيادة الحرارة إلى درجة معينة تسرع من عمليات التعويض فمثلا في حيوان البلاتاريا يصعب حدوث التعويض في درجة ٢٠م فقد وجد أنه من بين ستة أفراد حفظوا عند هذه الدرجة واحد فقط عوض منطقة الرأس وكانت مشوهة حيث ان العينان والمخ لم يكونا تامي التميز بعد حوالي ستة أشهر من بداية التجربة كما لوحظ أن سرعة التعويض أكثر مايمكن عند درجة ٢٩م حيث تتكون رؤوس جديدة بعد ٦ رء يوما اما درجج ٢١م فكانت عالية جدا وعوضت عندها الرؤوس بعد ٨ يوم ودرجة ٢٢م كانت مميتة للحيوانات.

ومن ناحية أخرى وجد ان الطعام لا يؤثر كثيرا فحتى الحيوان الصائم يعوض الأجزاء المفقودة على حساب موارده الداخلية فمثلا عندما يعوض الفأر أجزاء من كبده أو عندما يعوض السلمندر أطرافه أو عند تعويض أجزاء من الجسم في الهيدرا والبلاتاريا وجد ان حرمان هذه الحيوانات من الطعام لا يمنع عملية التعويض بل ربما أدى إلى الإسراع بها. فإذا حرمت البلاتاريا من الطعام لمدة طويلة يمكن لها الحياة بواسطة عمليات أيض (هدم) لمكونات من أجسامها هي شخصيا وبالتالي فان الحيوان يقل في الحجم وبذلك فان البلاتاريا تظل لها القدرة على التعويض مع أن الحجم الكلي لها يقل ويعاد بناء الأجزاء المفقودة تدريجيا حتى يتكون فعلا بوده كاملة ولكنها صغيرة الحجم جدا. وفي تجربة قطعت فيها البلاتاريا طوليا إلى نصفين ترك النصف الأيمن بدون طعام كلية بينما كان يغذي الجانب الأيسر وجد أن الجانبان عوضا الأجزاء الناقصة ومن ذلك يتضح أن عملية التعويض لها الأولوية في استخدام المواد المتاحة للكائن. ومع أن الحد من الطعام يبدو مناسباً لعملية التعويض فإن الدرجات القصوى من الهزال الناتج عن التجويع تمنع عمليات التعويض إلا في الكائنات المشابهة للبلاتاريا والتي لها القدرة على استخدام أجسامها الذاتية كمصدر للطاقة بدون نتائج مؤذية.

والجهاز العصبي كما جاء من قبل له تأثير خاص علي عمليات التعويض فمثلا في اليرمانيات لا يمكن الإستمرار في عمليات التعويض الأولية بطريقة طبيعية في غياب امداد عصبي مناسب إلى منطقة الجرح فاذا دمرت الأعصاب الموجودة في زراع أو رجل حيوان النيوت أثناء عملية استئصال الطرف أو أثناء المراحل الأولى من التعويض فإن استمرار الطرف في التعويض يتوقف ويفشل برعم التعويض في النمو بل يمكن ان يمتص.



وعمل الأعصاب أكبر من مجرد تدعيم عملية التعويض فقد وجد أنه في حيوان النيوت إذا نقل عصب من مكانه الطبيعي إلى مكان آخر بعيد يمكن أن ينمو طرف جديد في المكان الجديد الذي لا تتكون فيه أطراف عادة.. فإذا قطع مثلا عصب طرفى قرب نهايته البعيدة عن الجسم ثم فصل عن مجراه البعيد إلى مستوى الكتف أو الحوض ثم عمل قطع في منطقة الجرح بدأ من الكتف أو الحوض ووضع العصب في هذا الجرح بحيث أنه بعد التئام الجرح يكون الطرف الحر للعصب تحت الجلد مباشرة ويعيداً عن الطرف الذي يمدّه طبيعياً وجد أنه إذا كانت نهاية العصب غير بعيدة جداً عن قاعدة الطرف فإنه يتكون طرف أثرى مماثل لبرعم التعويض الطرفى عند نهاية العصب وفي الحالات الناتجة ينمو هذا البرعم ليكون طرفاً كاملاً في بقعة لا يمكن أن ينمو فيها طرف بغير هذه التجربة.

وأهمية الجهاز العصبى فى البلاناريا كبيرة حيث تتبع الخلايا الجديدة المهاجرة إلى سطح الجرح لتكوين برعم التعويض الحبل العصبى السفلى فى هجرتها فإذا استئصل الحبل العصبى على مسافة من السطح الذى قطعت منه الدودة فلا تتكون عملية تعويض عند هذا السطح ولكن يمكن أن يتكون برعم التعويض عند البقعة التى ينتهى عندها الحبل العصبى بحيث يتكون نصف أمامى جديد للدودة على بعد ما من منطقة القطع الأمامية.

والنهاية الأمامية للحبل العصبى يمكن أن تنقل بنفس الطريقة المستخدمة فى حيوان النيوت فىكون الطرف الحر المنقول للعصب برعم تعويض ورأس لحيوان البلاناريا وقد وجد أن قطعة صغيرة من العصب البطنى بدون استئصال أى نهاية من نهايتى الجسم تكفى لبدأ عملية التعويض فى عديدة الأشواك والبلاناريا حيث تتكون براعم التعويض فى الأخيرة بجوار الأحبال العصبية المقطوعة وإذا نزع الأعصاب المخية مع جزء من النسيج المحيط لحيوان البلاناريا وزرعت فى مناطق مختلفة من الجسم يتكون رأس كامل جديد فى مكان الزراعة.

وتثبت التجارب السابقة بدون شك أن تأثير الجهاز العصبى لازم لعملية التعويض ولكنها لا تظهر كيف يعمل الجهاز العصبى وما إذا كان يعمل بنفس الطريقة التى ينقل بها التنبيه الذى يؤدي للحركة أو إطلاق افراز معين أم بطريقة أخرى وأمكن الأجابة على هذا السؤال بإجراء تجربة معينة بحيث أعطيت زعنفة ظهرية لبرمائى زبلى الياف عصبية متنوعة مأخوذة من المخ أو الحبل الشوكى فوجد أنه بعد عملية تآكل أولية بدأت

الأنسجة في النمو وتكونت الياف عصبية من الخلايا العصبية التي بقيت على قيد الحياة ووجد أنه إذا زرع برعم طرفي في هذه الزعنفة الظهرية تتكون اتصالات بين قطعة النسيج العصبى والطرف وتمد الأعصاب النامية الجلد والعضلات الموجودة في الطرف كما وجد أن الألياف المتكونة ليست الياف حسية أو حركية طبيعية ولكنها مماثلة للخلايا العصبية الموصلة للأجزاء المختلفة للجهاز العصبى المركزى.

وإذا كانت قطعة النسيج العصبى التي تعطى الأعصاب مأخوذة من الحبل العصبى أو النخاع المستطيل فإن عضلات الطرف المتكون تكون لها القدرة على الأنكماش ولكن بطريقة غير متناسقة مشابهة لتلك المصاحبة لتشنجات الصرع أكثر منها للحركات الطبيعية بينما لا توجد هذه الانقباضات إذا كان النسيج العصبى مأخوذ من المخ الأمامى أو سرير المخ أو المخ المتوسط. ويمكن بعد ذلك استئصال الطرف المزروع ويعوض هذا الطرف مهما كان مصدر الأعصاب المدة له سواء كانت من المخ أو الحبل العصبى وبالتالي فإن الأعصاب التي لا يمكن لها أن تطلق الإنقباضات العضلية يمكنها أن تساعد في عملية التعويض ويستنتج من ذلك أنه ربما يكون أى نوع من الأمداد العصبى مصدراً للتأثير اللازم لعملية التعويض وإن هذا التأثير مخالف فى طبيعته للنقل العادى للمؤثرات بواسطة الأعصاب.

ويبدو أنه من الصعب على الألياف العصبية أن تكون على اتصال بكل خلايا برعم التعويض أثناء حركتها لأخذ مواقعها تحت سطح الجرح فتحت هذه الظروف تكون عملية النقل العصبى الطبيعية صعبة وهناك احتمال قوى أن النهايات العصبية تعمل عن طريق إطلاق بعض المواد التي لا يعرف طبيعتها حتى الآن وتستلزم معرفتها إجراء تجارب جديدة للكشف عنها.

ومن المهم عمليا ونظريا معرفة ما إذا كان من الممكن تنشيط التعويض في كائنات أو أجزاء منها لا تعوض طبيعيا.. وتعتبر البرمائيات اللازلية موضوع مناسب لهذا النوع من التجارب لانهم يعوضوا فى أبى زنبقة ولايعوضوا فى الضفادع البالغة حيث تختفى القدرة على التعويض فى أرجل أبى زنبقة قبل بداية عملية التحور ببعض الوقت في مرحلة تكوين الغضاريف وفي مرحلة تالية عندما يكتمل التعويض ولكن وجد انه يمكن دفع برعم التعويض للتكوين إذا وخذ العقب بعد عملية الاستئصال بإبرة واخذه عدة مرات وهذا التأثير الإضافي كاف لدفع عملية التعويض وبالتالي يبدأ برعم التعويض في النمو ليكون طرفاً بالطريقة الطبيعية ويبدو أن عملية الوخذ بالإبرة فى الضفدعة البالغة