سمكة الفوغو- سمكة ثمينة جداً!

في اليابان يُعتبَر سمك الفوغو ذو مذاقٍ خاص، ولكن تناول وجبة من هذا السمك هي عملية جديّة جداً ومُكلِفة كثيراً. ما هو ثمن الوجبة؟ تدفعون مئات الدولارات من أجل وجبة أُعِدَت على يدي طاهٍ متخصص في مطعم ذو درجة عالية من الخبرة. وكم هي العملية جديّة؟ الثمن هو الحياة نفسها التي من الممكن ان تدفعوها إذا اخترتم مطعماً الذي يعمل به طاهٍ ليس لديه خبرة كافية.

في سمكة فوغو بالغة واحدة هنالك كمية من السُم التي تكفي لقتل 40 رجلاً خلال زمن قصير.

السُم هو سُم أعصاب قاتل تترودوتوكسين (Tetrodotoxin) وباختصار TTX.

سؤال 1

أسماك الفوغو تعيش في مناطق بحرية غنية بكائنات حيّة مختلفة، من بينها كائنات أيضا تحوي في أجسامها على السُم TTX.

أذكر حالتين فيهما أفضلية لسمك الفوغو نسبياً لكائنات حيّة في منطقته التي لا يُنتَج السُم TTX في أجسامها. (5)

حاول باحثون عديدون أن يفحصوا أين ينتج السُم TTX الموجود في جسم سمكة الفوغو. لم يجد الباحثون في جسم السمكة عضو خاص الذي يُنتِج السُم.

وُجِدَ في البحر أنواع عديدة من كائنات حيَّة التي تحوي في أجسامها على السُم – سرطانات، حلزونات، نجوم بحر، أخطبوط وعند أسماك من أنواع مختلفة، وخاصة عند أسماك من عائلة ينفوخيات الشكل التي ينتمي لها سمك الفوغو. ووُجِدت أيضاً أنواع عديدة من بكتيريا تُنتِج هذا السُم. في بحث فحص وجود بكتيريا المعروفة كمُنتِجة ل TTX وجدوا أنواع مختلفة من هذه البكتيريا في أسماك الفوغو وكائنات بحرية أخرى، بضمنها كائنات تعتبر غذاءً للسمك.

لكي يفحصوا مصدر السُم TTX نمّى باحثون أسماك فوغو صغيرة في حوض ماء، قسم أطعموه غذاءً يحتوي على TTX وقسم ثاني أطعموه غذاءً لا يحتوي على TTX. فحص الباحثون مستوى ال TTX في الأعضاء المختلفة في الأسماك في بداية التجربة وفي موعدين إضافيين خلال التجربة. النتائج معروضة في جدول رقم 1.

جدول رقم 1 – تأثير غذاء مع سُم وبدون سُم على كمية TTX في أعضاء مختلفة عند أسماك فوغو صغيرة.

وجود TTX في الغذاء	زمن الفحص منذ بداية التجربة (أيام)	كمية السُم في الأعضاء (وحدات اعتباطية)				
		كبد	جلد	عضلات	مبيضين	كليتين
لا يحتوي	0	*أقل من 4-	*أقل من 4-	* أقل من 4-	* أقل من 4-	* أقل من 4-
	10	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-
	20	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-
يحتوي	0	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-	*أقل من 4-
	10	75	28	6	20	5
	20	134	9	8	25	10

*كمية ليست كافية لقتل فأر.

اقترح الباحثون فرضيتين بالنسبة لمصدر السم TTX: البكتيريا التي تعيش في جسم سمك الفوغو **أو** الكائنات التي منها يتغذى سمك الفوغو.

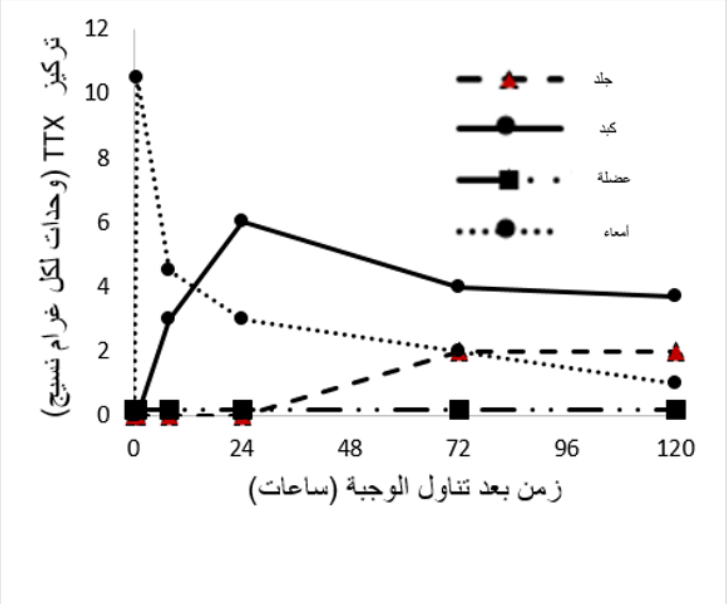
سؤال 2

أ. عدِّد جميع المتغيرات في التجربة المعروضة في الجدول 1 وأذكر بالنسبة لكل واحد إذا هو متغيِّر متعلِّق او متغيِّر مستقل. (5)

ب. **أيّة فرضية من بين الفرضيتين بخصوص مصدر السُم تلقى دعماً من قِبَل النتائج المعروضة في جدول رقم 1؟**
علِّل إجابتك. (7)

في تجربة إضافية أطعَمَ الباحثون أسماك فوغو بغذاء يحتوي على سُم TTX، وفحصوا في أوقات مختلفة بعد الوجبة تركيز ال TTX في أنسجة مختلفة في السمك. نتائج التجربة معروضة في الرسم البياني 1.

رسم بياني 1: تركيز TTX في أنسجة مختلفة في أوقات مختلفة بعد الوجبة



سؤال 3

بعد 24 ساعة يبدأ انخفاض تدريجي في تركيز TTX في الكبد. حسب المعطيات في الرسم البياني 1، إلى أين ينتقل السُم؟ اقترحوا أفضلية بيولوجية لهذا الانتقال. (5)

سؤال 4

شاهدوا الرسم 1، الذي يصف مبنى جهاز النقل عند الإنسان. نُدَقِق في أنابيب النقل المرتبطة في الكبد وتدعى جهاز باب الكبد.

أ. **يدخل الدم إلى الكبد عن طريق وعاءين دمويين مُشار إليهما بالحرفين א وَ ב.**
من أين يأتي الدم الى الكبد عن طريق الوعاء الدموي א ومن أين عن طريق الوعاء الدموي ב؟ (2)

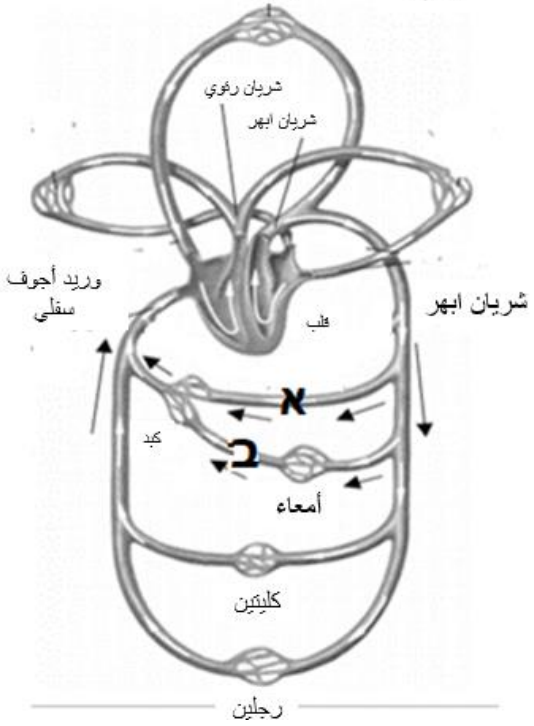
ب. **انسخ إلى دفترك الجدول وسجِّل فيه التراكيز النسبية (مرتفع أو منخفض) بالنسبة للمواد التالية في الوعاء الدموي א وفي الوعاء الدموي ב.** (3)

	الوعاء الدموي א (مرتفع/ منخفض)	الوعاء الدموي ב (مرتفع/ منخفض)
تركيز أوكسجين		
تركيز CO_2		
تركيز نواتج الهضم		

ج. **في الكبد عند سمك الفوغو هنالك جهاز باب الكبد شبيه للجهاز عند الانسان. ما هي العلاقة بين مبنى جهاز باب الكبد وترتيب توزيع السُم TTX في أنسجة السمك المعروضة في الرسم البياني 1؟** (10)

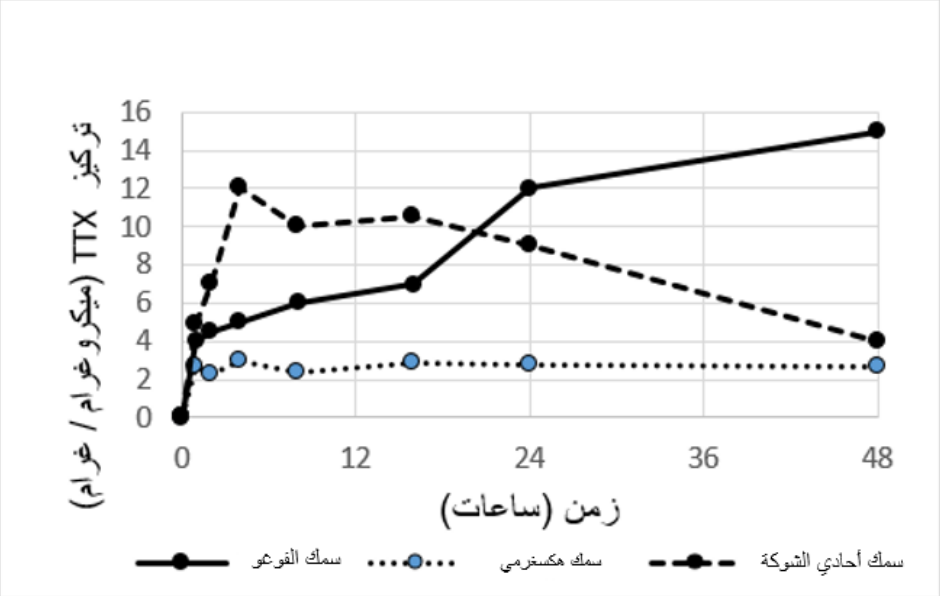
د. **ما هي الأفضلية البيولوجية للمبنى الخاص لجهاز النقل في الكبد؟ تطرّقوا لوظائف الكبد في الجسم. (6)**

رسم 1



طلب الباحثون أن يفحصوا ماذا يحدث للسُم TTX في الكبد عند السمك.
من أجل ذلك أخذوا خلايا كبد من ثلاثة أنواع سمك: سمك فوغو، سمك هكسغرمي (הקסגרמי) وسمك أحادي الشوكة (חדקוצי).
النوعان الآخران يتغذيان في الطبيعة من نفس الغذاء الذي عند سمك الفوغو لكنهما غير سامين.
تمَّ إطعام جميع الأسماك بغذاء بدون TTX، وخلايا الكبد التي أُخِذت منها نُميَت بأنسجة خلايا وتم توفير كل الظروف المطلوبة لمعيشة الخلايا.
أضافوا إلى خلايا الكبد في أنسجة الخلايا TTX لمُدّة 48 ساعة وفحصوا تركيز السُم في الخلايا.
نتائج التجربة معروضة في الرسم البياني 2:

رسم بياني 2: تركيز السُم في خلايا كبد من أسماك مختلفة



سؤال 5

أ. ما هو الفرق بين النتائج المعروضة في الرسم البياني 1 وبين النتائج المعروضة في الرسم البياني 2 بالنسبة لتركيز السُم في خلايا الكبد؟ سمك الفوغو؟ (5)

ب. أذكر سببين يمكن أن يؤديا لهذا الفرق؟ (12)

ج. اذكروا عاملين حوفظ عليهما ثابتين في التجربة الموصوفة في الرسم البياني 2، وفسِّروا بالنسبة لواحد منهما لماذا من المهِم المحافظة عليه ثابت. (5)

سؤال 6

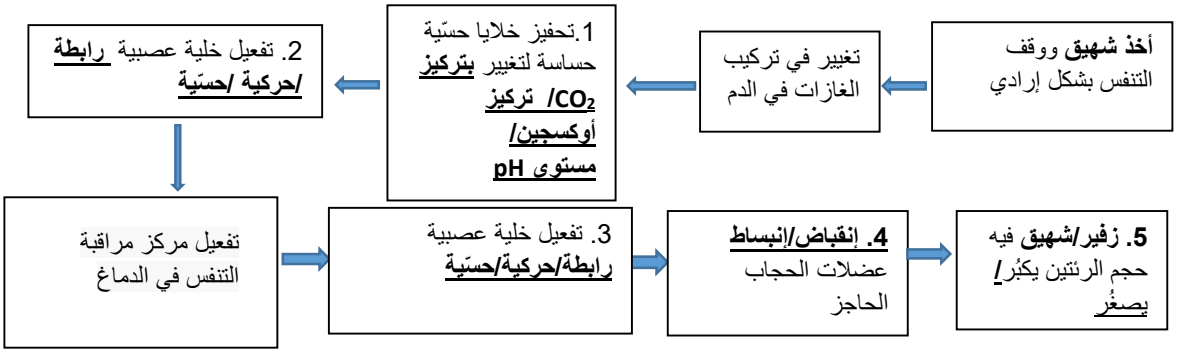
السمك أحادي الشوكة (החדקוצי) والسمك الهكسغرمي (הקסגרמי) يتغذيان من نفس الغذاء الذي يتغذى منه سمك الفوغو ولكنهما غير سامين. فسِّروا لماذا هذان النوعان من السمك غير سامين. اعتمدوا في إجابتكم على المعطيات في الرسم البياني 2. (5)

عند فحص آلية عمل ال TTX تبَيّن أنّ السُم يُغلِق قنوات صوديوم في أغشية خلايا عصبية التي تفرز الناقل العصبي أستيل خولين.
هذا الإغلاق يمنع في هذه الخلايا العصبية بناء السيال العصبي الكهربائي.

سؤال 7

وقف التنفس هو حالة إرادية محدودة بالزمن. بعد زمن تعود عملية التنفس بقوّة وللشخص لا توجد سيطرة عليها.

أمامك تخطيط يصف أحداث وعمليات تحدُث عندما يُوقِف شخص تنفسَه بشكل إرادي:



أ. في المستطيلات المُرقّمة في التخطيط كُتِبَت عدّة إمكانيات مُشدَّدة بخط سفلي. اختاروا في كل مستطيل الامكانية الملائمة وإنسخوا إلى أوراق الإجابات رقم المستطيل والامكانية التي اخترتم. (2)

ب. عند وقف التنفُس، ما هو التغيير في تركيب الغازات في الدم وما هو السبب لتكوّنه؟ (2)

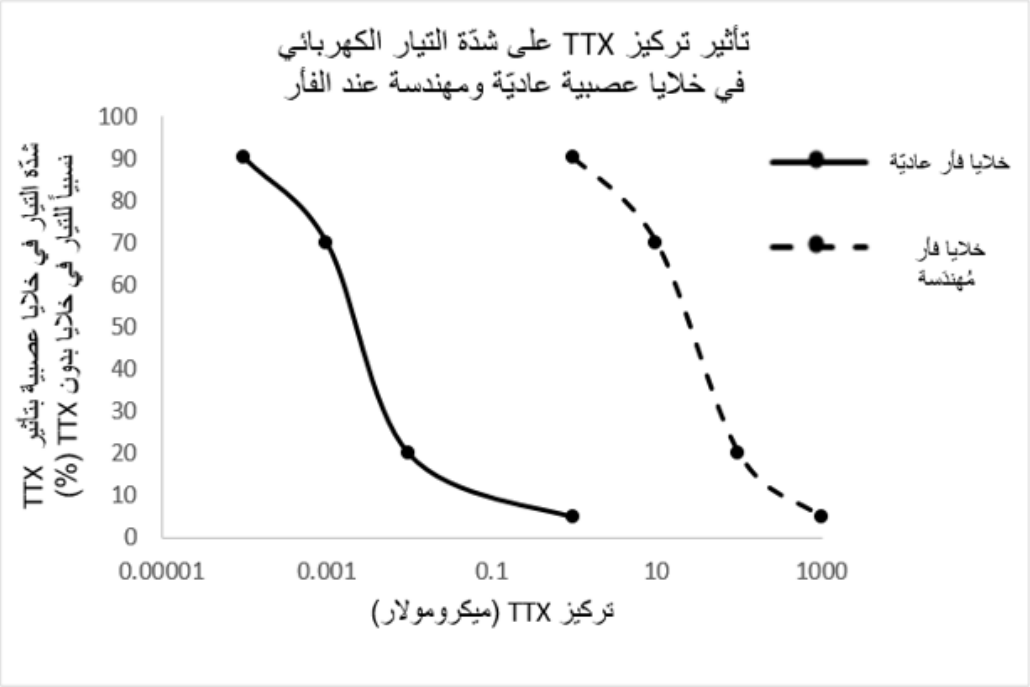
ج. فسِّروا بمساعدة المعلومات في التخطيط، لماذا دخول السُم TTX إلى جسم الإنسان يُؤدي أحياناً كثيرة إلى صعوبات تنفس وإحساس في الاختناق. (7)

فكّرَ الباحثون كيف يُمكِن أنّ سمك الفوغو لا يتضرَّر من السُم TTX الذي يتراكم في جسمه.

بهدف الإجابة عن هذا السؤال فحص الباحثون تسلسل ال DNA المسؤول عن بناء قناة الصوديوم في خلايا عصبية عند أسماك الفوغو، وقارنوا التسلسل مع تسلسل المسؤول عن بناء نفس القناة عند كائنات حسّاسة ل TTX، مثل الفئران. وُجِدَ أن الحامض الأميني رقم 401 في الزلال الذي يبني قناة الصوديوم عند سمك الفوغو (وعند كائنات إضافية صامدة ل TTX) يختلف عن الحامض الأميني رقم 401 في الزلال الذي يبني القناة عند كائنات حسّاسة ل TTX. افترض الباحثون أن هذا هو المُسَبِّب لصمود السمك أمام السُم القاتل.

لكي يفحصوا فرضيتهم أنتجوا، بمساعدة الهندسة الوراثية، خلايا عصبية لفئران فيها الحامض الاميني رقم 401 في قنوات الصوديوم استبدلت بحامض أميني الموجود في هذا المكان في قنوات سمك الفوغو. فحص الباحثون إنتاج السيال العصبي الكهربائي في خلايا مُهندَسة وفي خلايا عادية، بوجود TTX وبعدم وجود TTX. نتائج التجربة التي أجرِيَت معروضة في الرسم البياني 3. في النتائج في الرسم البياني معروضة شدّة التيار الكهربائي في خلايا مع TTX حُسِبَت بنسبة مئوية نسبياً لشدّة التيار بدون TTX.

رسم بياني 3 – تأثير تركيز TTX على شِدَّة التيار الكهربائي في خلايا عصبية عادية وخلايا عصبية مهندسة عند الفأر



سؤال 8

أ. في التجربة ضابطان. من هما الضابطان؟ (4)

ب. في النتائج عُرِضت شدَّة التيار الكهربائي في خلايا مع TTX بنسبة مئوية نسبياً لشدّة التيار بدون TTX. لماذا قرَّر الباحثون عرض النتيجة بنسبة مئوية ولم يعرضوا شدَّة التيار التي قيسَت في الخلايا في كل واحد من تراكيز ال TTX؟ (10)

ج. تطرّقوا للنتائج المعروضة في الرسم البياني 3 وحدِّدوا هل صدَق الباحثون في فرضيتهم. علِّلوا تحديدكم. (4)

العلاج المُتَبَع اليوم عند أشخاص أصيبوا بتسَمُم TTX هو شطف أمعاء وتنفس اصطناعي، وهذا يُحافظ على حياة الشخص حتى يتم إبعاد ال TTX من الجسم. مع ذلك، هناك محاولة لتطوير علاجات ناجعة أكثر، من بينها استعمال أجسام مضادّة ضد TTX، واستعمال مُعيق لإنزيم الذي يُحلِّل الناقل العصبي في السينابسا.

سؤال 9

فسِّروا كيف أنّ كل واحد من العلاجين المُقتَرَحين (أجسام مضادّة ل TTX ومعيق للإنزيم الذي يُحلِّل الناقل العصبي) من الممكن أنّ يُحسِّن من حالة شخص يُعاني من تسمُم TTX. (7)

بالنجاح