صحة الإنسان
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 11 ديسمبر 2023
doi: 10.3389/frym.2023.1322449-ar

الميكروبيوم البشري ودوره في الحفاظ على صحتنا

Souhaila Al Khodor و Marwa Saadaoui
قسم البحوث، سدرة للطب، الدوحة، قطر

الإنسان عبارةٌ عن أنظمةٍ بيئيّةٍ معقّدة تتكوّن من خلايا بشريّةٍ وكائناتٍ حيّةٍ صغيرةٍ تُسمّى الميكروبات. يُطلق على مجموعة هذه الميكروبات وجيناتها اسم الميكروبيوم. لقد حقّق العلماء مؤخّرًا تقدّمًا كبيرًا في فهم تركيبة الميكروبيوم البشريّ باستخدام تقنيّات التسلسل المتقدّمة. وأظهر مشروع الميكروبيوم البشريّ أنّ كلّ جزءٍ من جسمنا له مجموعته الخاصّة به من الميكروبات. لنحافظ على صحة أجسامنا، يجب أن يكون الميكروبيوم متوازنًا. يحافظ الميكروبيوم على صحتنا بعدة طرق، على سبيل المثال، يساعد على هضم وامتصاص العناصر الغذائية، وتدريب جهاز المناعة، وحمايتنا من الميكروبات الضارة والالتهابات المزمنة. يمكن أن تؤدي التغييرات في التركيب الطبيعي للميكروبيوم إلى بعض الأمراض. سنشرح في هذا المقال دور الميكروبيوم في الحفاظ على صحة الإنسان. سنشرح أيضًا تأثير عوامل مثل الجينات والعمر والنظام الغذائي واستخدام المضادات الحيوية ونمط الحياة وغيرها على تكوين الميكروبيوم وبعض الأمراض الناتجة عنه.

المراجعون الصغار

ABBAS
العمر: 13

ABED
العمر: 11

ABDULLAH
العمر: 13

ARWA
العمر: 14

BLQEES
العمر: 10

ما هو الميكروبيوم؟

الأجسام البشرية هي أنظمة بيئية معقدة تشمل خلايا البشرية والعديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تسمى الميكروبات، بما في ذلك البكتيريا والفيروسات والفطريات. يطلق على هذه المجموعات من الميكروبات اسم الميكروبيوم البشري [1]. يتكون الميكروبيوم البشري من تريليونات الميكروبات التي تعيش على أجسادنا كالجلد والفم والأنف والأمعاء ومناطق الجسم الأخرى [2]. يختلف التركيب الدقيق للميكروبيوم البشري من شخص لآخر، ويتأثر بمجموعة متنوعة من العوامل، بما في ذلك النظام الغذائي لكل شخص وعمره وجيناته ونمط حياته. يمكن أن تؤثر هذه الميكروبات على الجهاز المناعي، التمثيل الغذائي، وحتى مزاجنا وسلوكياتنا! كما أنها تساعدنا على هضم الطعام، وتنتج الفيتامينات، وتحمينا من البكتيريا الضارة التي يمكن أن تسبب المرض، وهنا تكمن أهميّة دراسة الميكروبيوم البشريّ وفهم دوره في الصحّة والمرض.

عندما يتعطل الميكروبيوم البشري - وهي حالة تسمى اختلال الميكروبيوم البشري - يمكن أن ينتج عن ذلك العديد من الأمراض. وتشمل هذه الأمراض مرض التهاب الأمعاء ومرض الاضطرابات الهضمية والحساسية والربو والسكري وحتى السرطان. تخبرنا الأبحاث أن البقاء بصحة جيدة يتطلب الحفاظ على توازن وصحة الميكروبيوم.

أين يوجد الميكروبيوم؟

تم اكتشاف الميكروبيوم البشري لأول مرة من قبل أنتوني فان ليفينهوك من هولندا، في أوائل أواخر القرن السابع عشر. استخدم المجهر لفحص العينات المأخوذة من الفم والعينات الأخرى المأخوذة من البراز. لاحظ وجود الكائنات الحية الدقيقة في هذه العينات واكتشف اختلافات في الرائحة بين العينات. وجدت الأبحاث اللاحقة أن الميكروبات تعيش في عدة مواقع رئيسية في الجسم، والتي سنصفها بإيجاز فيما يلي (الشكل 1).

القناة الهضمية

ميكروبيوم الأمعاء هو المجموعة الأكثر دراسةً والأكثر تنوعًا. يتكون من تريليونات من الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الجهاز الهضمي، بما في ذلك الفيروسات، والفطريات، والبكتيريا، وغيرها. تلعب هذه الكائنات دورًا مهما في هضم الطعام وإنتاج الفيتامينات وتنظيم جهاز المناعة. يمكن أن تؤدي الاختلالات في تكوين ميكروبيوم الأمعاء إلى مشاكل مختلفة في الجهاز الهضمي مثل التهاب الأمعاء الدقيقة، والتي يمكن أن تسهم في العديد من الأمراض مثل مرض التهاب الأمعاء (IBD) أو مرض كرون أو مرض الاضطرابات الهضمية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي هذا الخلل أيضًا إلى السمنة ومرض السكري من النوع 2 وأمراض أخرى.

الفم

الميكروبيوم الفموي هو مجموعة الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الفم. يضمّ الفم ثاني أكثر المجتمعات الميكروبيّة تنوّعًا في جسم الإنسان، بحوالي أكثر من 1000 نوع

الميكروبات (Microbes)

تشتمل على مجموعة متنوعة من الكائنات الحية المجهرية، مثل البكتيريا والفيروسات والفطريات والعتائق وبعض أنواع الطلائعيات.

الميكروبيوم البشري (Human microbiome)

الميكروبات الدقيقة بما في ذلك البكتيريا، والفيروسات، والفطريّات، والميكروبات الأخرى التي تعيش على أو داخل جسم الإنسان.

جهاز المناعة (Immune system)

شبكة معقدة من الأعضاء والخلايا والبروتينات تعمل على حماية الجسم من الالتهابات.

التمثيل الغذائي (Metabolism)

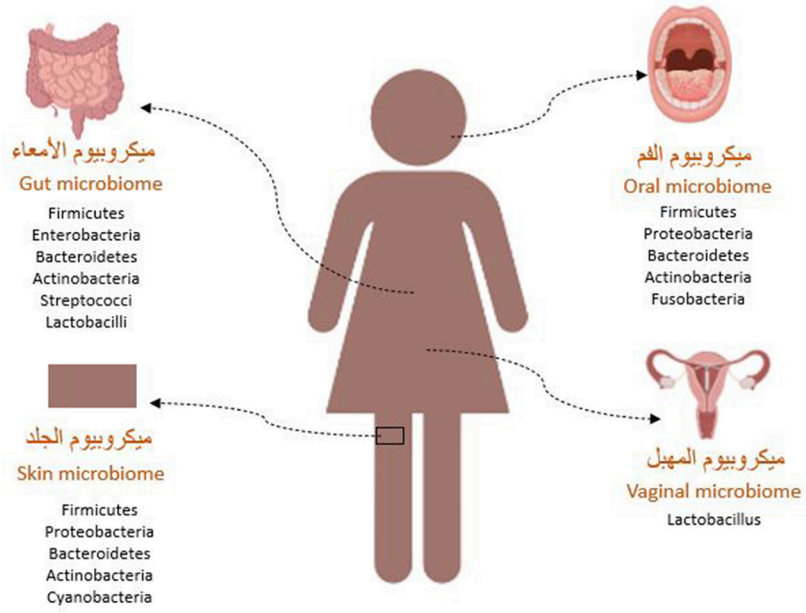
يشير إلى مجموعة من الأنشطة الأيضية اللازمة لوجود الحياة داخل الكائن الحي.

اختلال الميكروبيوم البشري (dysbiosis)

تغيير تركيبة الميكروبيوم البشري.

متنوع (Diverse)

ظرف يشير إلى مجموعة متنوعة من الفروق أو الاختلافات داخل نظام، أو مجموعة، أو بيئة.



شكل 1

شكل 1

يتكون الميكروبيوم البشري من جميع الميكروبات التي تعيش على جسم الإنسان أو فيه، لكن الكائنات الحية التي يتكون منها الميكروبيوم تختلف باختلاف مناطق الجسم. يتم سرد أسماء الأنواع الرئيسية من البكتيريا الموجودة في كل منطقة.

من البكتيريا. يختلف ميكروبيوم الفم البشري اختلافا كبيرًا من الولادة إلى المراهقة [3]. يتطور ويصبح أكثر تنوعًا مع نمو الطفل. يلعب ميكروبيوم الفم دورًا حيويًا في الحفاظ على صحة الفم ومنع تسوس الأسنان. يمكن أن تسبب اضطرابات الميكروبيوم الفموي التهاب اللثة ورائحة الفم الكريهة.

الجلد

يمثّل الجلد الواجهة الخارجيّة والحاجز بين جسم الإنسان والبيئة، وهو موطن لمجموعة كبيرة ومتنوعة من الكائنات الحية الدقيقة. تعد الكائنات الحية الدقيقة جزءًا طبيعيًّا من بيئة الجلد وتلعب أدوارًا مهمة في حمايته من الأمراض والحفاظ على صحته ووظيفته. يتأثر ميكروبيوم الجلد بالعوامل البيولوجية مثل العمر والجينات والجنس والنظام الغذائي والنظافة، والعوامل البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة. يمكن أن تؤدي التغييرات في تكوين ميكروبيوم الجلد إلى مشاكل جلدية مثل حب الشباب والأكزيما والصدفية [4]. عموما يُمكن أن يساعد فهم الميكروبيوم الجلديّ وتفاعلاته مع عوامل متنوّعة في تطوير أساليب جديدة للحفاظ على صحّة الجلد وعلاج الأمراض الجلديّة.

المهبل

يشير الميكروبيوم المهبلي إلى مجموعة الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في المهبل. ويعدّ تكوين الميكروبيوم المهبليّ ضروريًّا للحفاظ على صحّة المهبل والوقاية من الالتهابات.

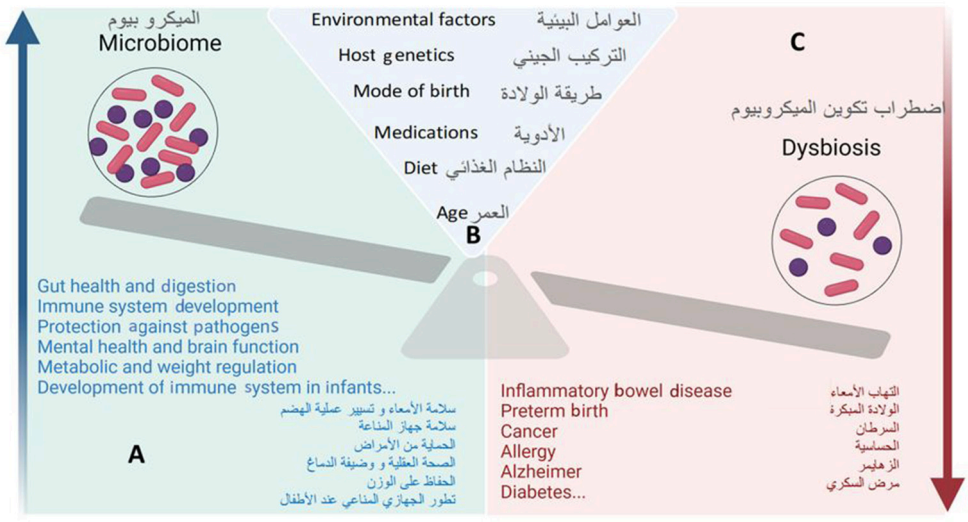
يتأثر الميكروبيوم المهبلي بالعديد من العوامل، بما في ذلك الهرمونات والنشاط الجنسي واستخدام وسائل منع الحمل وممارسات النظافة الشخصية [5]. يمكن أن يتغير تكوين الميكروبيوم المهبلي لأسباب عديدة، بما في ذلك الأمراض المنقولة جنسيًّا. أشارت الأبحاث إلى أن استخدام المعينات الحيوية، مثل المكملات الغذائية التي تحتوي على عصية لبنية يمكن أن تساعد في الحفاظ على توازن الميكروبيوم، والذي بدوره قد يحافظ على صحة المهبل. من ناحية أخرى، يمكن أن تسبب بعض الأدوية مثل المضادات الحيوية اختلال التوازن في الميكروبيوم المهبلي.

المعينات الحيوية (Probiotics)

تشير إلى الكائنات الحية الدقيقة التي تهدف إلى تحسين الصحة عند تناولها أو استخدامها موضعيًا.

ما الذي يمكن أن يؤثر على الميكروبيوم البشري؟

في جميع أجزاء الجسم، يمكن أن يتغير الميكروبيوم البشري. هذا يعني أن أنواع الكائنات الحية يمكن أن تزيد أو تنقص في العدد، اعتمادًا على العديد من العوامل (الشكل 2). فيما يلي بعض العوامل التي يمكن أن تؤثر على تكوين الميكروبيوم البشري:



شكل 2

(A) عندما يكون الميكروبيوم البشري في حالة توازن، فإنه يساهم في الصحة بعدة طرق مهمة. **(B)** هناك عدة عوامل يمكن أن تخل بتكوين الميكروبيوم، مما يخل بالتوازن، ويؤدي إلى حالة غير صحية تسمى اختلال الميكروبيوم البشري. **(C)** يرتبط اختلال الميكروبيوم البشري بالعديد من الأمراض والاضطرابات.

- التركيب الجيني: يمكن أن تؤثر جينات الفرد على تنوع ميكروبيوم الجسم. الأفراد الذين يفرزون مستضدات H ولديهم جين FUT2 نشط، على سبيل المثال، عادةً ما يكون لديهم ميكروبيوتا معوية أكثر تنوعًا مع مجموعة متنوعة من البكتيريا التي يمكنها استخدام هذه الجليكان كمصدر للطاقة. ومع ذلك، فإن أولئك الذين يفتقرون إلى هذه الجليكان في أمعائهم بسبب جين FUT2 غير الوظيفي قد يكون لديهم ميكروبيوم أقل تنوعًا لأن بعض البكتيريا قد لا تكون قادرة على النمو في غياب هذه الكربوهيدرات.
- طريقة الولادة: يحصل الأطفال الذين يولدون بالولادة الطبيعية (المهبلية) ميكروبات مهبل الأم. يتعرض الأطفال الذين يولدون بعملية قيصرية لميكروبيوم

جلد الأم والميكروبات من البيئة المحيطة. يمكن أن تؤثر الرضاعة الطبيعية أيضًا على تكوين وتطور ميكروبيوم الطفل.

- النظام الغذائي: النظام الغذائي هو أحد أكثر العوامل تأثيرًا في تكوين ووظيفة الميكروبيوم البشري [6]. يمكن للمكونات الغذائية، مثل الألياف والكربوهيدرات والبروتينات والدهون، أن تجعل بعض الأنواع البكتيرية تتكاثر بشكل أسرع من غيرها. يمكن أن يؤثر النظام الغذائي الغني بالأطعمة المصنعة والسكريات المضافة والدهون غير الصحية سلبًا على الميكروبيوم عن طريق تقليل البكتيريا المفيدة وزيادة البكتيريا الضارة.
- نمط الحياة والعوامل البيئية: يمكن أن تؤثر عوامل مختلفة، بما في ذلك النظافة اليومية، واستخدام المنتجات المضادة للميكروبات، والتعرض للتلوث، والأنشطة البدنية على تكوين الميكروبيوم وتنوعه.
- الأدوية: تؤثر بعض الأدوية، وخاصة المضادات الحيوية، بشكل كبير على تكوين الميكروبيوم البشري. في حين أن المضادات الحيوية يمكن أن تقتل البكتيريا الضارة التي تسبب المرض، فإنها يمكن أن تقتل أيضًا البكتيريا المفيدة لصحة الإنسان. هذا يمكن أن يؤدي إلى خلل في الميكروبيوم. وقد وجدت الدراسات أن بعض الأنواع البكتيرية المفيدة قد تفقد بشكل دائم أو تقل بشكل كبير بعد دورة من المضادات الحيوية.
- العمر: تحدث بعض التغييرات في تكوين الميكروبيوم ووظيفته مع تقدمنا في العمر. عند الولادة، يكون الميكروبيوم بسيطًا نسبيًّا، لكنه يتنوع بسرعة ويصبح أكثر استقرارًا مع نمو الطفل. يعد تنوع الميكروبيوم أثناء الطفولة أمرًا مهمًا لتطوير جهاز المناعة، مما يساعد على الحفاظ على صحة الأطفال.

كيف يحافظ الميكروبيوم على صحتنا؟

لقد ذكرنا بعض الطرق التي يساعد بها الميكروبيوم البشري على الحفاظ على صحة الإنسان. فيما يلي بعض النقاط الرئيسية التي تسلط الضوء على أهمية الميكروبيوم في الحفاظ على صحتنا:

سلامة الأمعاء وتسيير عملية الهضم

يلعب ميكروبيوم الأمعاء دورًا حيويًّا في الهضم وامتصاص العناصر الغذائية. من خلال إنتاج الإنزيمات الهاضمة التي لا يستطيع البشر صنعها، يساعدنا ميكروبيوم الأمعاء على هضم الكربوهيدرات المعقدة والألياف التي لا تستطيع أجسامنا هضمها بمفردها. تصنع الميكروبات أيضا الفيتامينات المهمة في النظام الغذائي الصحي، مثل فيتامين ك وب.

الحماية من الأمراض

يعتبر الميكروبيوم حاجزًا ضد مسببات الأمراض. على سبيل المثال، تنتج العصية اللبنية المهبليّة عند النساء حمض اللاكتيك، مما يخلق بيئة حمضية تساعد على منع نمو البكتيريا الضارة التي يمكن أن تسبب عدوى تسمى التهاب المهبل الجرثومي [7].

الصحة العقلية ووظائف المخ

تظهر الأبحاث وجود علاقة قوية بين ميكروبيوم الأمعاء والصحة العقلية. ينتج الميكروبيوم نواقل عصبيّة، مثل السيروتونين والدوبامين، والتي تعتبر ضروريّة لتنظيم المزاج والسلوك. كما أنّه يتواصل مع الدماغ من خلال محور القناة الهضميّة، وهو نظام اتّصالٍ ثنائيّ الاتّجاه. تم ربط التغييرات في تكوين الميكروبيوم بالعديد من اضطرابات الصحة العقلية، بما في ذلك القلق والاكتئاب، وبعض أمراض الدماغ مثل مرض الزهايمر والتوحد.

الحفاظ على وزن صحي

ارتبط تكوين ميكروبيوم الأمعاء بأمراض متنوّعة، مثل السُّمنة ومرض السكريّ من النوع 2. يمكن أن تؤثر بعض الميكروبات على طريقة استخراج الطاقة من الطعام ويمكن أن يؤثر بعضها أيضًا على طريقة تخزين الدهون في الجسم. والجدير بالذكر أن هضم الكربوهيدرات المعقدة وتخمير الألياف الغذائية يتم تسهيلهما بواسطة ميكروبات الأمعاء. ومع ذلك، يتم إنشاء الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة (SCFAs)، والتي تعمل كمصدر للطاقة وتنقل الجوع مع الدماغ، بسبب هذه العمليات. هذا قد يدعم تنظيم السعرات الحرارية والشهية، وبالتالي، فإنه يحافظ على وزن صحي.

تطوير الجهاز المناعي

تعدّ السنوات الأولى من العمر حاسمة لتطور جهاز المناعة. يساعد التعرّض للميكروبات المختلفة، خلال هذه المرحلة، في تشكيل جهاز المناعة وتطويره. مما يقلّل من خطر الإصابة بالحساسيّة والربو وأمراض المناعة الذاتيّة وغيرها من الأمراض في مرحلةٍ لاحقةٍ من الحياة.

الخاتمة

في الختام، يمثّل الميكروبيوم البشريّ دورًا مهمًّا في الحفاظ على صحّة الإنسان. وقد تتنوّع العوامل المؤثّرة في تركيبته (الشكل 2). يرتبط الميكروبيوم المتوازن والمتنوّع بفوائد متنوّعةٍ، بما في ذلك الهضم السليم، امتصاص العناصر الغذائيّة، تنظيم جهاز المناعة، والحماية من مسبّبات الأمراض. ولكن، الاضطرابات أو الاختلالات في تركيبة الميكروبيوم تؤدّي إلى أمراضٍ متنوّعةٍ؛ منها: مرض التهاب الأمعاء، الحساسيّة، السكريّ وحتّى الاضطرابات العقليّة.

يعدّ فهم العلاقة بين الميكروبيوم والصحّة والمرض مجالًا واسعًا للبحث العلميّ. والجهود جاريةٌ لتطوير التدخّلات والعلاجات القائمة على الميكروبيوم، مثل المعينات الحيوية، مغذيات المعينات الحيوية، وزرع ميكروبيوم الأمعاء. ومع ذلك، ثمّة حاجة إلى مزيد من البحث لفهم التفاعلات المعقّدة بشكل كامل وتطوير التدخّلات والعلاجات. عمومًا، فإنّ دراسة الميكروبيوم البشريّ قادرة على إحداث ثورةٍ في فهمنا ونهجنا لإدارة صحّة الإنسان والأمراض.

إقرار

تم تمويل هذا المشروع من قبل مركز سدرة للطب (رقم DSR 400161).

المراجع

1. Sender, R., Fuchs, S., and Milo, R. 2016. Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS Biol.* 14:e1002533. doi: 10.1371/journal.pbio.1002533
2. Dekaboruah, E., Suryavanshi, M. V., Chettri, D., and Verma, A. K. 2020. Human microbiome: an academic update on human body site specific surveillance and its possible role. *Arch. Microbiol.* 202:2147–67. doi: 10.1007/s00203-020-01931-x
3. Sampaio-Maia, B., and Monteiro-Silva, F. 2014. Acquisition and maturation of oral microbiome throughout childhood: an update. *Dent. Res. J.* 2014. 11:291–301. doi: 10.4103/1735-3327.135876
4. Ellis, S. R., Nguyen, M., Vaughn, A. R., Notay, M., Burney, W. A., Sandhu, S., et al. 2019. The skin and gut microbiome and its role in common dermatologic conditions. *Microorganisms* 7:550. doi: 10.3390/microorganisms7110550
5. Kwon, M. S., and Lee, H. K. 2022. Host and microbiome interplay shapes the vaginal microenvironment. *Front. Immunol.* 13:919728. doi: 10.3389/fimmu.2022.919728
6. Moles, L., and Otaegui, D. 2020. The impact of diet on microbiota evolution and human health. Is diet an adequate tool for microbiota modulation? *Nutrients* 12:1654. doi: 10.3390/nu12061654
7. Chen, X., Lu, Y., Chen, T., and Li, R. 2021. The female vaginal microbiome in health and bacterial vaginosis. *Front. Cell Infect. Microbiol.* 11:631972. doi: 10.3389/fcimb.2021.631972

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 11 ديسمبر 2023

المحرر: Robert T. Knight

مرشدو العلوم: Susan Nasif Obeid-Adorisio و Somayah Abdullah Albaradei

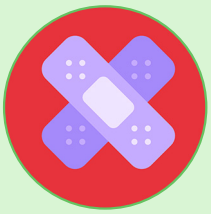
الاقتباس: Al Khodor S و Saadaoui M (2023) الميكروبيوم البشري ودوره في الحفاظ على صحتنا. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2023.1322449-ar

مُترجَم ومقتبس من: Saadaoui M and Al Khodor S (2023) The Human Microbiome and Its Role in Keeping Us Healthy. Front. Young Minds 11:1322449. doi: 10.3389/frym.2023.1322449

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2023 © 2023 Al Khodor و Saadaoui. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار



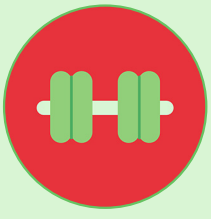
ABBAS, العمر: 13
أنا عباس في المرحلة المتوسطة. من هواياتي كتابة الكتب المصورة. وأريد أن أصبح طبيب نفسي.

ABED, العمر: 11
يطمح عابد لأن يصبح طبيبا في المستقبل، عابد من المملكة العربية السعودية ومن مدينة مكة المكرمة بالتحديد. يحب القراءة ويستمتع بمناقشة ما قرأه مع أصدقائه. يقرأ القصص والروايات ومهتم بالقراءة في العلوم وخاصة الأحياء. يمارس عابد العديد من الهوايات منها السباحة وكرة القدم. كما يعد عابد من الموهوبين في الرسم.

ABDULLAH, العمر: 13
يطمح عبد الله لأن يصبح طبيبا في المستقبل. عبد الله من المملكة العربية السعودية ومن مدينة مكة المكرمة بالتحديد. يحب القراءة ويستمتع بمناقشة ما قرأه مع أصدقائه. يقرأ القصص والروايات ومهتم بالقراءة في العلوم وخاصة الأحياء والفيزياء. يمارس عبد الله العديد من الهوايات منها السباحة وكرة القدم. كما يعد عبدلله من الموهوبين في الرياضيات.

ARWA, العمر: 14
أنا أروى، أحب الأحياء كثيرًا، أتمنى أن أدرس عنها لاحقًا، عمري 14 سنة، سأدخل الثانوية في العام الدراسي القادم ان شاء الله، استمتعت كثيرًا بالقراءة عن الميكروبيوم البشري.

BLQEES, العمر: 10
الاسم بلقيس، العمر 10 سنوات، تدرس بالصف الرابع، شاركت في ورشة عمل تدريبية اونلاين بعنوان مغامرات الفيروسات المذهلة لمدة أسبوعين في عام 2020 مع الدكتورة سوزان ناصيف (مكتب ابن الحكيم). الهوايات: القراءة والرسم.



FATIMA, العمر: 11
اسمي فاطمة وأبلغ من 11 عام، هوايتي هي الرسم وأطمح أن أكون طبيبة في المستقبل.

HASSAN, العمر: 14
أنا حسن في المرحلة الثانوية. من هواياتي تركيب الليجو والألعاب المتحركة، وأريد أن أصبح طيار.

المؤلفون

MARWA SAADAOUI
مروة صعداوي أخصائية أبحاث في مختبر اكتشاف الميكروبيوم والمؤشرات الحيوية في سدرة للطب، قطر. في عام 2012، حصلت مروة على درجة الماجستير في التكنولوجيا الحيوية من المعهد العالي للتقنية الحيوية في صفاقس، تونس. تعمل مروة حاليًا ضمن فريق الدكتورة سهيلة الخضر وتشارك في مشاريع مختلفة تتعلق بدور الميكروبيوم في الصحة والمرض، بالإضافة إلى اكتشاف المؤشرات الحيوية.

SOUHAILA AL KHODOR
تدير الدكتورة سهيلة الخضر قسم صحة الأم والطفل في فرع البحوث في سدرة للطب، قطر. حصلت الدكتورة الخضر على درجتي الماجستير والدكتوراه (دكتوراه في علم الأحياء الدقيقة والمناعة) من جامعة لويزفيل في كنتاكي، الولايات المتحدة الأمريكية (2005-2008). إنها مهتمة بفهم دور الميكروبيوم في الصحة والمرض. لدى الدكتور الخضر أكثر من 67 مقال تمت مراجعته من قبل الأقران. تشغل حاليًا منصب رئيس التحرير الميداني المساعد لدورية فرونتيرز لعلم الأحياء الدقيقة، كما أنها مُحررة قسم الميتاجينوميات في دورية الطب الانتقالي. *salkhodor@sidra.org

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology