

הנושא: דיפוזיה של פחמן דו חמצני דרך קרום (למורה)

עודכן ב: 29.8.17

א. הדגמה של מעבר פחמן דו חמצני דרך קרום שקית דיאליזה ב. הבנת יתרונות וחסרונות של מודל	תמצית מידע:
גוף האדם / מערכת הנשימה (בתכנית הלימודים לתלמידים מתמחים ובתכנית מבוא לביולוגיה)	מתאים לנושא בתכנית הלימודים:
בחטיבה העליונה (כיתות י')	מתאים לתלמידים:
דיפוזיה, קרום התא, חומר בוחן (אינדיקטור)	ידע קודם נדרש:
1 – 2 שיעורים	הזמן הנדרש:
תיאור תצפית, הסבר תוצאות ניסוי, הבנת חשיבות בקרה במערך הניסוי	מיומנויות חקר:

בחלק א של הניסוי מודגמת תגובתו של האינדיקטור פנול אדום ל- CO_2 ובחלק ב התלמיד ישתמש באינדיקטור זה ויעקוב אחר דיפוזיה של CO_2 דרך קרום בררני (שקית דיאליזה העשויה צלופן).

א. פנול אדום הוא אינדיקטור לחומצה / בסיס המתאים להערכת דרגת pH במים מכיוון שטווח שינוי הצבע שלו נמצא בדרגות pH הנפוצות בסוגים שונים של מים.
כשדרגת pH בתמיסה $\geq 6.6 - 6.8$, צבע האינדיקטור הוא צהוב
כשדרגת pH בתמיסה $\leq 8.0 - 8.2$ צבע האינדיקטור הוא אדום - סגול.
צבעי ביניים, כגון אדום - כתום או אדום - ורוד, מתקבלים בדרגות pH שבין 6.9 – 7.9.
בדפים ללברנט פורטו השלבים שיש לבצע לפני הניסוי כדי לוודא שהמים שיכין לתלמידים יתאימו לניסוי. מידע מפורט בנושא ראו בקובץ "[חשיבות בדיקת pH של המים](#)".

ב. הנוזל במבחנה 1 משמש כבקרת צבע (בלנק) המאפשרת להשוות בין צבע האינדיקטור בנוכחות מים לבין צבעו בנוכחות מים ו- CO_2 (שאלה 1). תוצר התגובה בין פחמן דו חמצני ומים המצויים במי סודה (מבחנה 3) הוא תמיסה חומצית ולכן בהוספת האינדיקטור התקבל צבע צהוב.
במבחנה 2 שהכילה מים ואינדיקטור, הנשיפה גרמה לשינוי הצבע מאדום לצהוב. על פי תוצאות אלה יש להניח כי CO_2 המצוי באוויר הנשוף הוא הגז שגרם לשינוי הצבע (שאלה 2).
הערה: אם התכנון הוא לסיים את ביצוע הניסוי בשיעור אחד, אפשר להדגים את חלק א והתלמידים יבצעו רק את חלק ב.



שקיות א ו-ב בסוף הניסוי

ג. מערכת הניסוי ב כוללת שקית דיאליזה שבה מים ופנול אדום. השקית נמצאת במבחנה שמכילה מים ואוויר נשוף. ה- CO_2 שבאוויר הנשוף מגיב עם המים לקבלת חומצה פחמתית. הגז המומס במים והיונים של החומצה הפחמתית HCO_3^- ו- H_3O^+ עוברים בדיפוזיה דרך קרום השקית וגורמים לכך שבתוך השקית תיווצר סביבה חומצית וישתנה צבעו של האינדיקטור (בתשובה לשאלה 3 התלמידים אינם נדרשים להתייחס ליונים).

ד. מערכת א היא מערכת בקרה (שאלה 4). המערכת כוללת מבחנה ובה שקית דיאליזה זהה לזו שהוכנסה למבחנה ב, אך הנוזל שבמבחנה אינו מכיל אוויר נשוף. מערכת זו מאפשרת לשלול הסבר חלופי על פיו במשך הזמן חל שינוי בצבע של האינדיקטור פנול אדום, גם ללא נוכחות אוויר נשוף או CO_2 .

ה. בפרק הזמן בו נמשך הניסוי (ובתנאי שהשקית נקשרה כהלכה) לא ניתן להבחין במעבר של האינדיקטור מהשקית לסביבה החיצונית. ממצא זה מעיד על בררנות הקרום של השקית (שאלה 6).

בניסוי שבו יוסיפו במערכת ב את האינדיקטור מחוץ לשקית ואת השאיפה יבצעו אל הנוזל שבשקית, יחול שינוי צבע בנוזל שבמבחנה של מערכת זו ולא בזה שבשקית (שאלה 5).

ו. פחמן דו חמצני מובל בדם בשלוש דרכים:

רובו מועבר בצורת יוני ביקרבונט HCO_3^- הנוצרים בתאי הדם האדומים מהתרכבות של CO_2 עם מולקולות מים, חלקו מועבר כשהוא קשור לקבוצות אמיניות שבמולקולות המוגלובין ומיעוט מומס כגז פחמן דו חמצני¹.

ז. חילוף גזים בגוף האדם מתרחש בריאות וברקמות. מערכת ב יכולה להוות מודל לדיפוזיה של CO_2 דרך דופן נימי הדם, דופן נאדיות הריאה או קרומי תאים.

¹ מערכות ותהליכים באדם, בבעלי חיים ובצמחים, האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים (תשס"ו) 2006 עמ' 123 – 126

להלן שתי דוגמאות מפורטות מאד לתשובות אפשריות לשאלה 7:

1. אם הקרום הבררני של שקית הדיאליזה מייצג את דופן נימי דם, התמיסה מחוץ לשקית מייצגת את הנוזל הבין תאי שבו יש CO_2 שנפלט מהתאים, והנוזל בתוך השקית מייצג את נוזל הדם. CO_2 עובר בדיפוזיה מהסביבה הבין תאית אל תוך נוזל הדם.

2. אם הקרום הבררני של שקית הדיאליזה מייצג את דופן נאדיות הריאה, התמיסה מחוץ לשקית מייצגת את נוזל הדם שבו יש CO_2 , והנוזל בתוך השקית מייצג את חלל הנאדית. CO_2 עובר מנוזל הדם דרך דופן נימי הדם אל נאדיות הריאה.

הערה: בנאדיות הריאה יש אוויר, אך יש גם קרום דק של נוזל שמצפה את הנאדיות, כלומר, העיקרון המשותף בדוגמאות הוא דיפוזיה של CO_2 דרך קרום, אף כי בכל אחת מהדוגמאות לא הוזכרו כל הקרומים דרכם עובר CO_2 .

ח. חשוב לבצע השוואה בין המודל לבין המצב בגוף האדם (שאלה 8).
הדמיון בין המודל למצב בגוף הוא בכך שבשני המקרים מתקיים תהליך דיפוזיה וכתוצאה ממפל הריכוזים עוברות מולקולות CO_2 מומס ((והיונים HCO_3^- ו- H_3O^+) מהנוזל שבמבחנה ב אל תוך השקית.

ההבדלים בין המודל למצב בגוף הם:

- בתאי הגוף יש כל העת ייצור של CO_2 וכן זרימה מתמדת של נוזל הדם, לפיכך קיים כל הזמן מפל ריכוזים בין הסביבה התאית, החוץ תאית, ונוזל הדם. במודל, לאחר זמן יושג שוויון ריכוזים ואילו בגוף בכל רגע נתון יתקיים מפל ריכוזים של CO_2 .
- בררנות קרום שקית הדיאליזה מבוססת על גודל מולקולות, בעוד שבררנות קרומי תאים או דופן נימי הדם מושפעת גם ממבנהו הכימי של החומר ומטענו החשמלי, וכן תלויה בתעלות ונשאים ייחודיים שבקרומים.
- שטח הפנים בגוף שדרכו מתרחשת דיפוזיה של פד"ח גדול פי כמה מאשר שטח הפנים של השקית.

ט. כאמור, אחת מדרכי העברת פד"ח בדם היא באמצעות יוני ביקרבונט הנוצרים בתאי הדם האדומים. בתאים אלה מצוי האנזים קרבוניק אנהידראז המזרז פי 105 – 106 את התגובה בין CO_2 ומים (לעומת קצב תגובה זו בפלסמה ללא נוכחות האנזים)², יוני HCO_3^- עוזבים את תאי

1 מערכות ותהליכים באדם, בבעלי חיים ובצמחים, האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים (תשס"ו 2006) עמ' 123 – 126



הדם האדומים ועוברים לפלסמה כתוצאה ממפל הריכוזים שבין התאים לפלסמה בעוד שבמודל, כמות הגז המומסת תלויה רק בגורמים פיזיקליים: קבוע המסיסות של הגז, לחץ חלקי וטמפרטורה.

י. כדאי לדון עם התלמידים על יתרון השימוש במודל. במקרה זה המודל מאפשר בידוד ובדיקה של גורם אחד תוך התעלמות מגורמים אחרים, אינו דורש מכשור מדויק והתגובות ברורות לעין המסתכל. כדי לקשר בין תהליך חילוף הגזים ובין תהליך הנשימה התאית, מומלץ לדון עם התלמידים בהבדל שבין שני התהליכים באמצעות השאלה: הסבר את תהליך חילוף הגזים המתרחש בגוף. כלול בהסברך את המושגים האלה: נוזל בין תאי, נוזל הדם, דופן נימת דם, תא, קרום תא, CO_2 , דיפוזיה, ריכוז גבוה, ריכוז נמוך, נשימה תאית, ריאות, נאדית ריאה. אפשר להכין קטע (cloze) לשלב בו רק חלק מהמושגים והתלמיד יצטרך להשלים את החסר. שיבוץ המושגים הנכונים במשפטים יעיד על הבנת הקשר בין התהליכים.