

## קורס חובשים בכירים – מאזן חומצה בסיס

מושגי יסוד בכימיה (כדברי הרב זה יעזור לנו בהמשך):

יון	אטום או מולקולה בעל מטען חשמלי שנוצר כאשר ישנן מולקולות של חומר בתמיסה
אנזים	חומר אורגני שגורם להאצת תהליכים כימיים
אטום	החלק הקטן ביותר של החומר שעדין שומר על תכונותיו, האטום מורכב מפרוטונים נויטרונים ואלקטרונים.
מולקולה	מספר אטומים של חומרים שונים שקשורים יחד תיתכן גם מולקולה מיסוד אחד כמו חמצן $O_2$
פרוטון	חלק ממבנה גרעין האטום, חלקיק בעל מטען חשמלי חיובי
אלקטרון	חלקיק שסובב סביב הפרוטון (כמו שכדור הארץ סובב סביב השמש) בעל מטען חשמלי שלילי

סיכום זה אמור לתת הבנה בסיסית של הפיזיולוגיה והביוכימיה בתהליך מאזן חומצה בסיס.

### יוני המימן (H) והחומציות (pH)

בכל יון מימן ישנו פרוטון אחד שלו ואלקטרון אחד שסובב סביבו, בגלל חוסר האיזון הזה יוני המימן הם יונים שמגיבים מהר בתהליכים כימיים בכלל ובתהליכים כימיים בגוף בפרט. חוסר היציבות נובע מכך שכל יסוד שואף להשלים את ה"טבעות" של האלקטרונים ולהשלימן ל-2, 8, 18, וכך הלאה. כל מצב של חוסר באלקטרונים יגרום לחוסר איזון חשמלי ושאיפה להשלמת הטבעת החיצונית. זהו המקור ליכולת של חומרים להתחבר ביניהם ע"י שיתוף אלקטרונים מיסודות שונים.

סולם pH מודד את כמות היונים החופשיים של מימן בתמיסה, ככל שיש ריכוז גדול יותר של יוני מימן חופשיים, כך התמיסה תהיה חומצית יותר ולהיפך ככל שישנם פחות יוני מימן חופשיים בתמיסה היא תהיה בסיסית יותר. למעשה רמת pH מצביעה על ריכוז יוני המימן בתמיסה. בסולם pH-תחום מדידה 0-14. ככל שהערך נמוך יותר החומר חומצי יותר.

### חומצה, בסיס וחוצצים (בופרים)

**חומצה:** תרכובת שמשחררת יונים של מימן כאשר היא באה במגע עם מים. חומצה חזקה, הנה תרכובת שמשחררת הרבה מהמימן שבה. חומצה חלשה, הנה תרכובת שמשחררת מעט מימן שבה.

**בסיס:** תרכובת שסופחת ונקשרת ליונים של המימן שבנוזל.

**חוצצים (בופרים):** הן תרכובות שמשפיעות על הריכוז של יוני המימן בתמיסה, ניתן להשוות את החוצצים לספוג, כאשר יש עודף של יוני מימן החוצצים סופחים יוני מימן עודפים. לעומת זאת כאשר יש חוסר ביוני מימן, החוצצים ישחררו את יוני המימן האגורים בתוכם. החוצצים הם למעשה חומצות חלשות או בסיסים. הם אחראיים במידה רבה על שמירת האיזון העדין של חומצה-בסיס בגוף.

### חשיבותו של המימן בגוף:

רמת חומציות מאוזנת בדם היא 7.35-7.45. בטווח זה האנזימים השונים בגוף מתפקדים כראוי. מאחר ולאנזימים יש מגוון עצום של תפקידים בגוף, פגיעה בהם עקב שינוי בחומציות הגוף, תגרור פגיעה במערכות מקיימות חיים כגון: המערכת הקרדיווסקולרית (הלב והנשימה), מערכת הדם (יחולו שינויים ברמות קרישת הדם) והמערכת המטבולית (חילוף החומרים) כדלקמן:

### במערכת הקרדיווסקולרית

- הפרעה בכיוון הלב
- הרחבת עורקים – יפול ל"ד ותפוקת הלב תרד
- התכווצות ורידים
- ירידה בתפוקת הלב
- ירידה בסף להפרעות קצב

### מערכת עצבים מרכזית

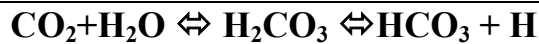
חילוף החומרים למוח יהיה איטי

מערכת מטבולית

- ייצור כמויות משתנות של חומצה לקטית ולקטט שמהווים סובסטרקטים (חומצות סותרות) לחומצות חופשיות בגוף עקב פירוק שומנים, פחמימות ומאחר יותר חלבונים.
- דיכוי ייצור ה-ATP במיטוכונדריה (על 2 שלביו).
- ירידה בהשפעות פרמקולוגיות.

**תהליך ייצור יוני מימן בגוף:**

בתהליך חילוף החומרים בגוף מיוצרת כמות קטנה של יונים חיוביים של מימן, (לדוגמה חמצון של חומצות אמינו ופרוק אנאירובי של גלוקוז). כמות גדולה יותר נוצרת בתהליך פליטת  $\text{CO}_2$  מתהליכים אירוביים, למרות שב- $\text{CO}_2$  אין מימן, הוא מגיב במהירות במגע עם מים ויוצר חומצה פחמנית  $\text{H}_2\text{CO}_3$  שמתפרקת מיד למימן ולביקרבונט  $\text{H} + \text{HCO}_3$ .



תהליך זה קורא בגוף באופן תמידי.

**שליטה על כמות יוני המימן בגוף:**

מאחר ויוני המימן מהווים חלק בלתי נפרד מהתהליכים בגוף, חייב הגוף לשמור על רמת החומציות שלו באופן תמידי ע"י פעילות החוצצים, שחרור  $\text{CO}_2$  בנשימה, שחרור מימן  $\text{H}^+$  בשתן וייצור מחדש של מולקולות  $\text{HCO}_3$ .

**מערכת הבופר:** הן תרכובות שמשפיעות על הריכוז של יוני המימן בתמיסה, ניתן להשוות את החוצצים לספוג, כאשר יש עודף של יוני מימן החוצצים סופחים יוני מימן עודפים. עם חומרים אלו נמנים: ביקרבונט, חלבונים.

כדוריות הדם האדומות נקשרות ליוני המימן ולמולקולות  $\text{CO}_2$  ומסיעות אותן לפינוי מהגוף על ידי מערכות הנשימה והשתן.

**מערכת הנשימה:** אחראית על סילוק  $\text{CO}_2$ , שהוא הגורם העיקרי לייצור יוני מימן בגוף שנוצרים כתוצר לוואי של התרכבות שלו עם המים. מכאן שמערכת הנשימה היא הגורם החשוב ביותר באיזון החומצה והבסיס בגוף, יש לזכור שהלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני בדם העורקי ( $\text{Pa CO}_2$ ) הוא ביחס הפוך לאוורור שבריאות, כלומר ככל שיורד האוורור, עולה הלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני בדם העורקי וכפועל יוצא עולה החומציות בדם. בנוסף, החשיבות של הלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני בדם העורקי גדלה גם עקב העובדה שמרכז הנשימה שבגזע המוח מגיב לשינויים בלחץ ה- $\text{CO}_2$  בדם העורקי.

**מערכת השתן:** מערכת השתן אחראית על הפרשת יוני המימן העודפים, וייצור של ביקרבונט. יוני הביקרבונט מופרשים בגלומרולוס, והריכוז שלהם בשתן זהה לריכוזם בדם. במידה וחסר בדם ביקרבונט תאזן מערכת השתן את הכמות ע"י העברת ביקרבונט מהשתן לדם. יוני המימן מופרשים לשתן בתעלה הקרובה והרחוקה בנפרד, לשתן יש יכולת מוגבלת לסילוק מימן לכן ישנו מנגנון אגירה בכליות שאוגר את המימן.

**זיהוי יוני מימן בגוף:**

קיימים מספק כימורצפטורים בקשת האאורטה, במוח ובשרירים אשר מעבירים למוח נתונים על רמת יוני המימן וה- $\text{CO}_2$ . במוח ישנם כימורצפטורים ביציאה מחדר שמאל ושם נבדקת רמת החומציות של נוזל ה-CSF כמו כן בגזע המוח נמצא מרכז הבקרה. בקשת האאורטה קיימים רצפטורים רגישים לרמות של חמצן/פחמן דו חמצני ומימן. בשרירים יש רצפטורים המעבירים מידע על רמת יוני המימן החופשיים. חומצה לקטית היא מולקולה יציבה יחסית על כן אין ביכולת הרצפטור לחוש אותה.

**הפרעות כתוצאה משינוי מאזן חומצה בסיס:**

הפרעה במאזן החומצה בסיס בגוף, תגרום לפלזמה להכיל יותר מדי יוני מימן (חמצת – Acidemia) או פחות מדי יוני מימן (בססת – Alkalemia). במילים אחרות ה-pH נמוך בחמצת (פחות מ-7.35) וגבוה בבססת (יותר מ-7.45). הפרעות אלו יכולות לנבוע מהפרעות נשימה ושינויים ב- $\text{PaCO}_2$  או כתוצאה מהפרעות מטבוליות.

## חמצת נשימתית – Respiratory Acidosis

חמצת נשימתית נגרמת עקב עליה ב-  $\text{PaCO}_2$  (הלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני בעורקים גבוה מ- 45 מ"מ כספית). תופעה זו קוראת לרוב עקב תפקוד לקוי של מערכת הנשימה (מחלה או טראומה), חלה ירידה באורור של הנאדיות בריאות ולכן ירידה בפליטת  $\text{CO}_2$ . נדיר מאוד, אך גם קיים, זה עליה בייצור  $\text{CO}_2$  עקב פעילות אירובית מאומצת.

גורמים לירידה בפליטת  $\text{CO}_2$ :

- חסימה של נתיב האוויר.
- פגיעה מוחית: שבץ מוחי, טראומה, מינון יתר של תרופות וסמים.
- חוסר שינה קיצוני.
- פגיעה במערכת העצבים: טראומה לחוט השידרה, שיתוק בעצב הסרעפת, מחלות עצבים.
- טראומה של בית החזה.
- מחלת ריאות: COPD, התקף חמור של אסטמה, פנאומוטורקס.

גורמים לעליה בייצור  $\text{CO}_2$ :

- חום גבוה. בעיקר אצל חולי COPD.
- דיאטה עתירת פחמימות.

## בססת נשימתית – Respiratory Acidosis

בססת נשימתית נגרמת עקב פליטה מוגברת של  $\text{CO}_2$  שגורמת לירידה ב-  $\text{PaCO}_2$  (הלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני בעורקים נמוך מ- 34 מ"מ כספית). נפוץ אצל נפגעי חרדה עקב היפרוונטילציה, חולי אסטמה בשלבי התקף ראשוניים בלבד, ותסחיף ריאתי קטן ובינוני בלבד. בססת נשימתית נדירה יותר וקשה לזיהוי.

## חמצת מטבולית – Metabolic Acidosis

חמצת מטבולית עלולה להיגרם עקב ייצור עודף של יוני מימן (עליה בייצור חומצות אורגניות או עקב הרעלה) או עקב ירידה ביכולת הספיגה של הבופרים בגלל ריכוז נמוך של ביקרבונט בגוף.

הגורמים לייצור עודף של יוני מימן (זוהי הסיבה העיקרית לחמצת מטבולית): נגרם עקב עליה בכמויות החומצות האורגניות בגוף כגון: חומצה לקטית שמופרשת בעיקר בשרירים כתוצאה מפעילות אנאירובית. הגורמים לפעילות אנאירובית הם:

- ירידה בכמות החמצן שבעורקים בגלל אנמיה למשל או בגלל ירידה בלחץ החלקי של החמצן בעורקים ( $\text{PaO}_2$ ).
- ירידה בתפוקת הלב.
- ירידה בנפח הדם.
- איסכמיה של איבר כתוצאה מחוסר עורקים (מחלה או טראומה).
- פגיעה ביכולת ההיקשרות של החמצן לדם (הרעלת ציאניד למשל).

במחלת הסכרת תופרש חומצה קטונית שתגרום גם היא לחמצת מטבולית: תאי הגוף שאינם יכולים להשתמש בגלוקוז על מנת לייצר אנרגיה בשל החוסר באינסולין, מפרקים את השומן ותוצר הלואי הוא גופים של קטון (אצטון) שמשחררים יוני מימן – מכאן הריח.

עקב אי ספיקה כלייתית יכולה לגרום להפרשה מועטת של יוני מימן מהגוף וכתוצאה מכך יוצר חוסר בביקרבונט והחמצת תחמיר. הפרעות מסוימות בבלוטת האנדוקרין שאחראית על הפרשת הורמונים יכולה גם כן לגרום לחמצת מטבולית. בלוטת האנדוקרין מפרישה הורמון שנקרא אלדוסטרון שמווסת את הפרשת הנתרן בנפרון, מאחר והפרשת הנתרן קשורה להפרשת עודפי המימן, חוסר באלדוסטרון יגרום לכשל בסילוק יוני מימן.

מערכת העיכול עשירה בתרכובות המכילות ביקרבונט, הפרעות במערכת העיכול יכולות לגרום לחוסר בביקרבונט ולחמצת מטבולית.

## בססת מטבולית – Metabolic Acidosis

נגרמת כתוצאה מ:

- הפרשת יתר של יוני מימן
- הפרשה מועטת של ביקרבונט
- הרעלה מחומרים בסיסיים

הפרשת יתר של יוני מימן:

הנוזלים שבקיבה מכילים כמות גדולה של יוני מימן, איבוד נוזלים אלו כתוצאה מהקאות ממושכות, אנורקסיה והפרעות אכילה, יגרום להפרשת יתר של יוני מימן וכתוצאה מכך תיגרם בססת מטבולית.

הפרשה מועטת של ביקרבונט:

רמות הביקרבונט בגוף קשורות גם לרמת הכלוריד, איבוד של כלוריד יגרום לעליה בכמות הביקרבונט בדם (קשור באיזון הפוטנציאליים החשמליים בגוף), כלוריד נמצא בעיקר במערכת העיכול לכן הקאות ממושכות יגרמו לא רק לאיבוד יוני מימן אלא לאיבוד הכלוריד ולעליה בכמות הביקרבונט בדם. איבוד הכלוריד יכול להיות גם בכליות עקב שימוש בתרופות משתנות.

הרעלה מחומרים בסיסיים:

כתוצאה ממינון יתר של תרופות נוגדות חומצה – תופעה נדירה.

תהליך הפיזוי הכולל:

כמו שלמדנו הגוף חייב להישאר באיזון על מנת לקיים את החיים. כשל של מערכת אחת יגרום לניסיון פיזוי של מערכות אחרות. לכל מערכת יש את זמן התגובה שלה:

מערכת הבופר: מערכת זו מהירת תגובה אך מוגבלת ביכולת ההתמודדות של (תזכרו את הספוג, יש גבול לכמה הוא יכול לספוג)  
מערכת הנשימה: מגיבה בתוך דקות על שינויים בכמויות ה- $\text{CO}_2$  בדם.  
מערכת השתן: אחראית על כמויות הביקרבונט בדם ועל הפרשת יוני המימן, תהליך ארוך טווח יותר (ימים).