

Tổng quan

DOI: 10.59715/pntjimp.3.4.1

Tổng quan về tinh dịch người

Phạm Ngọc Khôi

Bộ môn Mô Phôi - Di truyền, Khoa Khoa học cơ bản - Y học cơ sở, Trường Đại học Y khoa Phạm Ngọc Thạch
Văn phòng Khoa, Khoa Khoa học cơ bản - Y học cơ sở, Trường Đại học Y khoa Phạm Ngọc Thạch

Tóm tắt

Tinh dịch là một dịch chất hữu cơ của cơ thể người có chứa tinh trùng bên trong. Tinh trùng được tiết ra bởi cơ quan sinh dục nam và có thể thụ tinh với trứng từ cơ quan sinh dục nữ. Tinh dịch được sản xuất và bắt nguồn từ tinh hoàn, mào tinh và các tuyến sinh dục phụ. Quá trình phóng tinh dịch ra khỏi lỗ niệu đạo được gọi là quá trình xuất tinh. Ở người, dịch của tinh dịch có chứa một số thành phần ngoài tinh trùng như chất phân giải protein, các enzyme khác cũng như fructose là các thành phần của dịch của tinh dịch giúp thúc đẩy sự sống sót của tinh trùng và cung cấp môi trường để chúng có thể di chuyển. Dịch lỏng này thích nghi để được đi sâu vào âm đạo, do đó tinh trùng có thể đi vào tử cung và tạo thành hợp tử với trứng. Hiện nay, các nghiên cứu về tinh dịch người nhận được nhiều sự quan tâm, tuy vậy, chưa có những nghiên cứu tổng quan chi tiết cụ thể về đặc điểm sinh học của tinh dịch người. Ngoài ra, tùy từng chuyên ngành y khoa khác nhau với những đặc thù khác nhau sẽ tiếp cận dưới góc nhìn y khoa khác nhau về tinh dịch người. Vì thế, rất cần có những nghiên cứu tổng quan về tinh dịch người để đáp ứng từ thực trạng và yêu cầu nêu trên.

Từ khóa: tính chất vật lý; thành phần; phân hủy đường fructose; đông tụ; hóa lỏng.

Abstract

Review on the human semen

Semen is an organic bodily fluid that contains spermatozoa. Spermatozoa are secreted by the male gonads and other sexual organs and can fertilize the female ovum. Semen originates from the testis, epididymis, and accessory glands and is produced there. The process that results in the discharge of semen from the urethral orifice is called ejaculation. In humans, seminal fluid contains several components besides spermatozoa. Proteolytic and other enzymes, as well as fructose, promote the survival of spermatozoa and provide a medium for their movement. This fluid is adapted to be discharged deep into the vagina, so the spermatozoa can pass into the uterus and form a zygote with an egg. Currently, research on human semen exists; however, there are no detailed studies on its biological characteristics. In addition, different medical specialties with different characteristics will approach human semen from a different medical perspective. Thus, an overview of research on human semen is necessary to address these situations and requirements.

Keyword: Physical properties; composition; fructolysis; coagulation; liquefaction.

Ngày nhận bài:

05/5/2024

Ngày phản biện:

05/6/2024

Ngày đăng bài:

20/10/2024

Tác giả liên hệ:

Phạm Ngọc Khôi

Email: pnkhoi@pnt.

edu.vn

ĐT: 0909097802

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tinh dịch là lượng chất lỏng màu trắng đục, dạng sệt, có độ kết dính được phóng ra khi nam giới xuất tinh. Tinh dịch được sản xuất tại khá nhiều cơ quan sinh sản khác nhau ở nam giới như tinh hoàn, mào tinh, ống dẫn tinh nhưng nhiều nhất vẫn là túi tinh và tuyến tiền liệt [1]. Chức

năng chính của tinh dịch là bảo vệ tinh trùng, đồng thời giúp tinh trùng dễ dàng gặp trứng để hình thành hợp tử trong quá trình thụ thai. Vì thế, chất lượng tinh dịch được coi là thước đo đánh giá khả năng sinh sản của nam giới trong lâm sàng. Khoảng tham chiếu giá trị của các thông số trong tinh dịch người có thể hỗ trợ tiên lượng

về khả năng sinh sản hoặc chẩn đoán hiếm muộn ở nam giới. Hiện nay, chưa có nhiều công trình nghiên cứu tổng quan về tinh dịch người, vì vậy trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành nghiên cứu với mục tiêu chính là trình bày các đặc điểm về tính chất vật lý, thành phần tinh dịch người và các quá trình phân hủy đường fructose, đông tụ, hóa lỏng của tinh dịch người.

2. TỔNG QUAN

Tinh dịch người là một dịch cơ thể giàu protein được sản xuất bởi cơ quan sinh dục nam. Tinh dịch là dịch huyền phù tế bào phức tạp chứa một mảng dị thể bao gồm các chất mới được sản xuất bởi các tuyến sinh dục nam khác nhau như tinh hoàn, mào tinh, túi tinh, tuyến tiền liệt, tuyến Cowper (tuyến hành niệu đạo) và tuyến Littre (tuyến quanh niệu đạo). Chức năng hoạt động chính của tinh dịch là một chất đệm giàu chất dinh dưỡng và là môi trường vận chuyển tinh trùng từ đường sinh dục nam đến đường sinh dục nữ. Trong quá trình giao hợp, sự xuất tinh không đồng nhất được lắng đọng

trong đường sinh dục nữ. Điều này là do các tuyến sinh dục phụ thải ra chất tiết của chúng theo cơ chế co bóp với một trình tự riêng với các cơ quan trong quá trình xuất tinh. Điều này đảm bảo rằng các thành phần khác nhau của tinh dịch được phân phối theo thứ tự. Thứ tự bài tiết và sự đóng góp tương đối của mỗi tuyến sinh dục nam được liệt kê trong Bảng 1. Các bài tiết ban đầu, được gọi là bài tiết trước khi xuất tinh, bao gồm các bài tiết từ tuyến Cowper và tuyến Littre. Chất nhầy này được tiết ra để bôi trơn niệu đạo và trung hòa mọi dấu vết của nước tiểu có tính acid còn sót lại. Thành phần tiếp theo là kết quả của sự co thắt đồng thời của mào tinh và tuyến tiền liệt. Dịch này chứa tối đa nồng độ tinh trùng cùng với dịch tiết từ mào tinh và tuyến tiền liệt. Phần cuối cùng và lớn nhất của tinh dịch xuất tinh được đóng góp bởi túi tinh. Ngoài ra, hai thành phần tinh dịch còn sót lại sau khi xuất tinh trong đường sinh dục nam sẽ bị tái hấp thu thụ động của các mô xung quanh hoặc bị tổng xuất trong quá trình tiểu tiện [1].

Bảng 1. Trình tự bài tiết khi xuất tinh

Thứ tự của bài tiết	Tuyến sinh dục góp phần	% tổng số thể tích xuất tinh
I	Tuyến Cowper/Tuyến Littre	1 - 5
IIA	Tinh hoàn/Mào tinh	5 - 10
IIB	Tuyến tiền liệt	20 - 30
III	Túi tinh	65 - 75

2.1. Tính chất vật lý

Thể tích xuất tinh điển hình của người là khoảng 3 ml mặc dù nó có thể dao động từ 2 đến 5 ml [2]. Tinh dịch bình thường có dạng lỏng màu xám đục, có tỷ trọng từ 1,043 đến 1,102 g/ml. Màu sắc có thể chuyển qua màu trắng do chứa nhiều tinh trùng hoặc bạch cầu, nếu có màu đỏ của hồng cầu là do xuất huyết, thậm chí có thể xuất hiện màu nâu đỏ là do bệnh lý [3]. Tinh dịch có tính kiềm nhẹ giúp trung hòa môi trường acid của âm đạo. Độ pH đo được có thể thay đổi từ 7,2 đến 7,8 tùy theo thời điểm trôi qua kể từ khi xuất tinh. Độ pH của toàn bộ tinh dịch giảm theo thời gian là do đến quá trình phân hủy fructose và sản xuất acid lactic. Tuy nhiên, tinh dịch có tính đệm

cao hơn nhiều so với các chất dịch khác của cơ thể. Khả năng đệm này được tạo ra bởi chất đệm bicarbonate/carbon dioxide (HCO_3/CO_2), hàm lượng protein có trọng lượng phân tử cao và thấp như citrate, pyruvate và phosphate [4]. Một đặc tính đặc biệt khác của tinh dịch là tính thấm thấu cao, đó là do sự hiện diện của nồng độ cao các thành phần hữu cơ thay vì là các ion vô cơ.

2.2. Thành phần của tinh dịch

Các thành phần của tinh dịch có thể được chia thành các thành phần “tế bào” và “không phải tế bào” (xem Bảng 2). Thành phần không phải tế bào, thu được sau khi loại bỏ tế bào bằng ly tâm, được gọi là dịch của tinh dịch và chiếm hơn 90% thể tích của tinh dịch.

Bảng 2. Thành phần của tinh dịch

Tinh dịch người	
Thành phần tế bào	Thành phần không phải tế bào
<ul style="list-style-type: none"> - Tinh trùng trưởng thành - Tế bào biểu mô của đường sinh dục nam - Tế bào tròn + Bạch cầu + Tế bào mầm sinh dục chưa trưởng thành 	<p>Dịch tiết từ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tinh hoàn - Mào tinh + Glycerophosphocholine (GPC) + α-glucosidase trung tính + L-carnitine tự do - Túi tinh + Fructose + Semenogelin + Prostaglandins - Tuyến tiền liệt + Prostate specific antigen (PSA) + Kẽm (Zn^{2+}) + Citrate - Tuyến Cowper + Chất nhầy

2.2.1. Thành phần tế bào

Trung bình một lần xuất tinh của người có khoảng 100 triệu tinh trùng/ml mặc dù chúng góp phần ít hơn 1% thể tích xuất tinh [1]. Tổng số lượng tinh trùng trong mỗi lần xuất tinh tương quan với thời gian kiêng xuất tinh cũng như thể tích của tinh hoàn [5, 6]. Các thành phần tế bào khác của tinh dịch là tế bào biểu mô của đường sinh dục nam, bạch cầu và thậm chí là cả tế bào sinh tinh. Sự hiện diện của các tế bào mầm sinh dục chưa trưởng thành trong tinh dịch có thể cho thấy tinh hoàn bị tổn thương hoặc khả năng sinh tinh bị khiếm khuyết, trong khi sự hiện diện của bạch cầu có thể gợi ý tình trạng viêm ở các tuyến sinh dục phụ khác [3]. Việc kiểm tra tinh dịch bằng kính hiển vi đơn giản không thể phân biệt được giữa bạch cầu và tế bào sinh tinh vì được gọi chung là “tế bào tròn” [7]. Hầu hết ở các lần xuất tinh của người đều thấy sự hiện diện của bạch cầu với ưu thế là các bạch cầu hạt. Các bạch cầu này có trong tinh dịch chủ yếu là bạch cầu hạt dương tính với peroxidase như bạch cầu trung tính và có thể dễ dàng phân biệt với các tinh trùng đa nhân không có peroxidase bằng cách nhuộm hóa mô với peroxidase. Tuy nhiên, bạch cầu hạt khi được kích hoạt, mất hạt

và các bạch cầu không hạt khác như bạch cầu lympho, bạch cầu mono cùng với đại thực bào đều âm tính với peroxidase khi nhuộm hóa mô. Vì thế, các bạch cầu hạt có thể được phân biệt bằng phương pháp khác như nhuộm miễn dịch với dấu ấn sinh học CD45 là kháng nguyên bạch cầu phổ biến [3]. Nếu số lượng bạch cầu có trong tinh dịch lớn hơn giá trị ngưỡng ($1,0 \times 10^6$ tế bào dương tính với peroxidase/ml), khi đó được gọi là tinh dịch có chứa bạch cầu. Sự gia tăng tổng số bạch cầu có trong tinh dịch tương quan với mức độ nghiêm trọng của tình trạng viêm nhiễm [8].

2.2.2. Thành phần dịch của tinh dịch

Tinh dịch bao gồm các chất tiết ra từ tinh hoàn, mào tinh, túi tinh, tuyến tiền liệt, tuyến Cowper và tuyến Littre thì chất tiết có hàm lượng phân tử lớn nhất sẽ được cung cấp bởi túi tinh (xem Bảng 1). Một số thành phần khác của tinh dịch giống các chất được tìm thấy trong huyết thanh người và có thể là các chất tiết ra từ tuần hoàn, nhưng nhiều chất khác được sản xuất duy nhất bởi các cơ quan sinh dục nam và là duy nhất cho tinh dịch. Trong điều kiện bình thường, các thành phần tinh dịch riêng lẻ không cần thiết cho quá trình thụ tinh sẽ có vai

trò giúp vận chuyển hay trưởng thành tinh trùng và nâng cao đáng kể khả năng thụ tinh của tinh trùng trong cơ thể sống. Các thành phần này đã được chứng minh vai trò khi sinh thiết tinh trùng từ tinh hoàn (testicular sperm extraction, TESE) sử dụng trong công nghệ hỗ trợ sinh sản (assisted reproductive technology, ART) để đạt được trạng thái tỷ lệ bình thường trong thụ tinh trong ống nghiệm. Tuy nhiên, chức năng chính xác của tất cả các thành phần riêng lẻ của tinh dịch hiện nay vẫn chưa được xác định rõ ràng. Chúng được coi là quan trọng đối với chức năng của tinh trùng, trong quá trình và/hoặc sau khi xuất tinh. Đánh giá định tính và/hoặc định lượng cụ thể các thành phần tinh dịch có thể đóng vai trò là dấu hiệu đánh dấu hoạt động đúng đắn của từng tuyến sinh dục phụ

khác nhau, ví dụ như đo acid citric, kẽm và acid phosphatase để đánh giá chức năng tuyến tiền liệt; fructose và prostaglandins cho chức năng túi tinh; L-carnitine tự do, glycerophosphocholine (GPC) và α -glucosidase trung tính cho chức năng mào tinh. Dịch tinh dịch của người chứa một tập hợp đa dạng các phân tử từ các thành phần hữu cơ như protein, peptide, đường và lipid đến các ion vô cơ như kẽm (xem Bảng 3). Nồng độ protein trung bình trong tinh dịch của người là 25 - 55 g/L với albumin chiếm khoảng một phần ba tổng lượng protein hiện diện [2, 9]. Albumin trong tinh dịch chủ yếu có nguồn gốc từ tuyến tiền liệt, nhưng phần lớn các protein khác có trong túi tinh [10]. Một số thành phần quan trọng nhất của dịch của tinh dịch người được liệt kê trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần quan trọng của dịch của tinh dịch người

Tên của thành phần	Nồng độ (mg/ml)	Cơ quan tiết
Phosphorylcholine	10,00	Mào tinh
Prostate-specific antigen (PSA)	0,50 - 5,00	Tuyến tiền liệt
Acid citric	3,76	Tuyến tiền liệt
Spermine	0,50 - 3,50	Tuyến tiền liệt
Prostatic acid phosphatase (PAP)	0,30 - 1,00	Tuyến tiền liệt
Kẽm	0,14	Tuyến tiền liệt
Fructose	2,00	Túi tinh
Lipid tổng số (cholesterol + phospholipids)	1,85	Túi tinh
Prostaglandins	0,10 - 0,30	Túi tinh

2.2.2.1. Dịch tiết từ túi tinh

Thành phần quan trọng nhất trong dịch tiết từ túi tinh bao gồm fructose, semenogelin và prostaglandins. Fructose đóng vai trò là nguồn cung cấp năng lượng chính cho tinh trùng trong tinh dịch. Fructose được sản xuất duy nhất bởi các túi tinh, và do đó, tinh dịch không có fructose là dấu hiệu tiềm ẩn tắc nghẽn ống phóng tinh. Semenogelin, một loại protein có khối lượng phân tử là 52 kDa, có liên quan đến quá trình đông tụ tinh dịch. Các sản phẩm phân tách của semenogenogen được hình thành sau

quá trình hóa lỏng có chức năng sinh học, chẳng hạn như ức chế sự di chuyển của tinh trùng và hoạt động kháng khuẩn. Dịch tinh dịch có chứa khoảng 15 loại prostaglandins khác nhau, chủ yếu là prostaglandin E. Prostaglandins gây ra các cơn co thắt cơ trơn ở đường sinh dục nữ, từ đó giúp trong việc vận chuyển tinh trùng nhanh chóng mà không phụ thuộc vào khả năng di chuyển của tinh trùng. Túi tinh cũng đóng góp chính của phospholipid có trong tinh dịch. Tỷ lệ cholesterol so với phospholipid trong tinh dịch giúp ổn định tinh trùng chống lại nhiệt độ

và shock từ môi trường [11]. Các protein khác được tiết ra bởi túi tinh bao gồm fibronectin, lactoferrin, chất ức chế protein C và protein cảm ứng prolactin [9, 12].

2.2.2.2. Dịch tiết từ tuyến tiền liệt

Các protein chính do tuyến tiền liệt tiết ra bao gồm kháng nguyên đặc hiệu tuyến tiền liệt (prostate-specific antigen, PSA), prostatic acid phosphatase (PAP) và cysteine-rich prostate-specific protein-94 (PSP94). PSA là một serine protease gắn kèm thuộc họ Kallikrein, có tác dụng thủy phân semenogelin dẫn đến hóa lỏng chất đông tụ. PAP, một loại protein có khối lượng phân tử là 102 kDa, là dimer glycoprotein có hoạt tính enzyme. Cơ chất chính của PAP trong dịch của tinh dịch là phosphorylcholine phosphate. Tuyến tiền liệt cũng sản xuất ra chất spermine giúp tinh dịch có mùi đặc đáo của nó. Tinh trùng có bốn điện tích dương và có thể liên kết với acid hoặc các phân tử tích điện âm như ion phosphate, phospholipid hoặc acid nucleic. Quá trình oxy hóa enzyme của tinh trùng bằng diamine oxidase, có trong tinh dịch, sẽ tạo ra các sản phẩm aldehyde gây độc cho cả tinh trùng và vi khuẩn. Do đó, tinh trùng tiếp xúc kéo dài với tinh dịch sẽ làm giảm năng lực thụ tinh của tinh trùng [1, 13]. Nồng độ kẽm trong tinh dịch người bình thường cao hơn 100 lần so với nồng độ trong huyết thanh. Kẽm tham gia vào việc điều chỉnh hóa lỏng bằng liên kết với semenogelin. Kẽm cũng có hoạt động kháng khuẩn. Tương tự như kẽm, nồng độ citrate trong tinh dịch cao hơn 500 - 1000 lần so với trong máu. Citrate là chất kết dính mạnh với các ion kim loại và nồng độ của nó (20 mM) so với nồng độ tổng hợp của kim loại hóa trị II (calcium, 7 mM; magiesium, 4,5 mM; và kẽm, 2,1 mM).

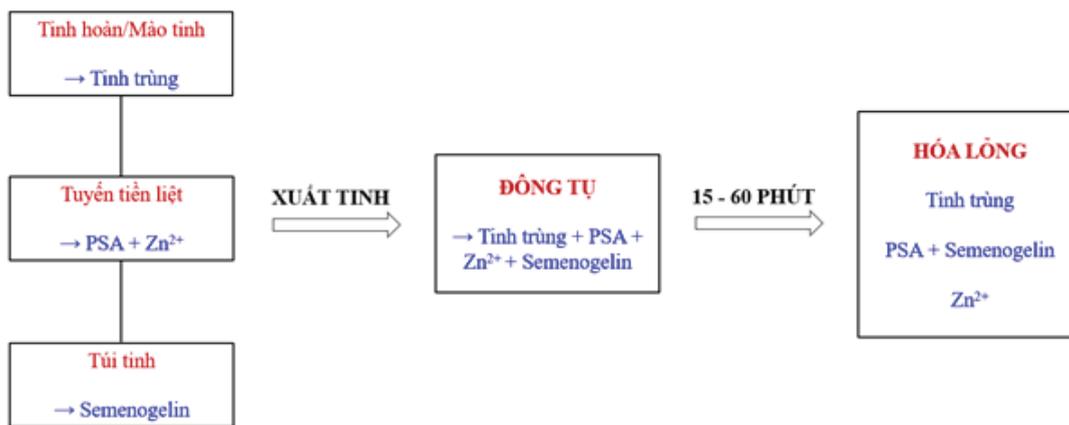
2.3. Phân hủy đường fructose

Do tinh trùng có khả năng di động cao nên nhu cầu năng lượng của tinh trùng là rất cao. Nguồn năng lượng chính cho tinh trùng trong tinh dịch là fructose được sản xuất bởi túi tinh. Nồng độ điển hình của fructose trong tinh dịch người là khoảng 200 mg/dl. Để duy trì đạt được tỷ lệ adenosine triphosphate/adenosine diphosphate (ATP/ADP) cao, tinh trùng sử dụng quá trình phân giải kỵ khí của fructose

được gọi là phân hủy đường fructose. Từ đó thì mỗi mol phân tử đường fructose sẽ tạo ra 2 ion âm lactate và 2 ion dương hydrogen (H^+). Nghiên cứu cho thấy có mối tương quan dương giữa mức độ di chuyển của tinh trùng và tốc độ quá trình phân giải đường fructose trong tinh dịch người [14]. Tuy nhiên, sự cố định bởi tác nhân diệt tinh trùng (lipid peroxidase) dẫn đến mất khả năng phân hủy đường fructose không thể phục hồi được tính chất của tinh trùng [15].

2.4. Đông tụ và hóa lỏng tinh dịch

Tinh dịch của người đông lại một cách tự nhiên sau khi xuất tinh và sau đó hóa lỏng trong vòng 15 - 60 phút ở nhiệt độ phòng. Mặc dù cơ chế chính xác cơ bản của quá trình đông tụ/hóa lỏng tinh dịch chưa được hiểu rõ ràng, đó là được cho là do được điều hòa thông qua một loạt enzyme, chủ yếu là protease, chất ức chế các yếu tố và ion kim loại [16]. Các thành phần của tinh dịch được lưu trữ trong các tuyến riêng biệt và chỉ trộn lẫn khi xuất tinh. Sự bài tiết của tuyến tiền liệt chứa Zn^{2+} và kẽm ức chế PSA được trộn với protein semenogelin và chất ức chế protein C (protein C inhibitor, PCI) được sản xuất từ túi tinh. Vì kẽm có ái lực cao hơn đối với semenogelin so với PSA, nó liên kết tốt hơn với semenogelin sau khi xuất tinh. Điều này gây ra sự thay đổi về hình dạng của semenogelin dẫn đến hình thành chất đông tụ dạng sợi, không hòa tan. Tinh trùng không di động được trong chất đông tụ này. Chelate hóa các ion kẽm làm giảm nồng độ Zn^{2+} tự do, do đó kích hoạt vào PSA. PSA được kích hoạt sẽ tách các semenogelin dẫn đến sự hóa lỏng của gel và giải phóng tinh trùng di động [17]. Kẽm và PCI cũng được giải phóng thành dung dịch, và chúng lần lượt liên kết với PSA, ngăn ngừa sự phân giải protein không mong muốn tiếp theo. Các chi tiết về quá trình đông tụ và hóa lỏng được thể hiện dưới dạng sơ đồ trong Hình 1. Quá trình đông tụ/hóa lỏng cho phép tinh trùng tiếp xúc thích hợp với tinh dịch có tác dụng kích thích nhu động, tăng khả năng thụ tinh và cũng cho phép sự xâm nhập có trật tự của tinh trùng vào đường sinh dục nữ [18]. Sự vắng mặt hoặc không có quá trình hóa lỏng hoàn toàn tương quan với khả năng thụ tinh giảm [1].



Hình 1. Sơ đồ thể hiện quá trình đông tụ và hóa lỏng của tinh dịch người

3. KẾT LUẬN

Điều quan trọng là phải hiểu các tính chất vật lý và hóa học nổi bật của tinh dịch người bình thường để tạo thành một chất mô phỏng tinh dịch tiêu chuẩn. Việc này sẽ hữu ích trong nghiên cứu liên quan đến thuốc ngừa thai qua đường âm đạo [2]. Một lĩnh vực khác có tiềm năng chưa được khai thác là việc sử dụng tinh dịch như một mẫu chất chuẩn lâm sàng không xâm lấn để xác định dấu ấn sinh học về hiếm muộn cũng như khả năng sinh sản, các bệnh về đường sinh dục nam như viêm tuyến tiền liệt, ung thư. Tinh dịch chứa nhiều các phân tử được tạo ra bởi các cơ quan/tuyến sinh dục nam cụ thể, và do đó, bất kỳ tình trạng bệnh lý nào của các cơ quan này sẽ ảnh hưởng đến cấu trúc phân tử có trong thành phần của tinh dịch. Khám phá ra PSA như một dấu hiệu của bệnh lý về tuyến tiền liệt như tăng sản lành tính tuyến tiền liệt và ung thư tuyến tiền liệt, là ví dụ tốt nhất để minh họa cho điểm này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Prins GS, Lindgren M. Accessory sex glands in the male. In: Plant TM, Zeleznik AJ, editors. Knobil and Neill's physiology of reproduction. 4th ed. Amsterdam: Academic Press 2015; 773-804.
2. Owen DH, Katz DF. A review of the physical and chemical properties of human semen and the formulation of a semen simulant. J. Androl. 2005; 26: 459-469.
3. WHO. WHO laboratory manual for the examination and processing of human

semen. 5th ed. Geneva: WHO Press 2010.

4. Wolters-Everhardt E, Dony JM, Peters WH, De Pont JJ. Buffering substances of human semen. Fertil. Steril. 1987; 48: 159-161.
5. Schwartz D, Laplanche A, Jouannet P, David G. Within-subject variability of human semen in regard to sperm count, volume, total number of spermatozoa and length of abstinence. J. Reprod. Fertil. 1979; 57: 391-395.
6. Cooper TG. Semen analysis. In: Nieschlag E, Behre HM, Nieschlag S, editors. Andrology: male reproductive health and dysfunction. Heidelberg/New York: Springer, 2010; 125-138.
7. Johanisson E, Campana A, Luthi R, de Agostini A. Evaluation of "round cells" in semen analysis: a comparative study. Hum. Reprod. Update. 2000; 6: 404-412.
8. Wolff H. The biologic significance of white blood cells in semen. Fertil. Steril. 1995; 63: 1143-1157.
9. Rodriguez-Martinez H, Kvist U, Ernerudh J, Sanz L, Calvete JJ. Seminal plasma proteins: what role do they play? Am. J. Reprod. Immunol. 2011; 66(1): 11-22.
10. Hirsch IH, Jeyendran RS, Sedor J, Rosecrans RR, Staas WE. Biochemical analysis of electroejaculates in spinal cord injured men: comparison to normal ejaculates. J. Urol. 1991; 145: 73-76.
11. White IG, Darin-Bennett A, Poulos A. Lipids of human semen. In: Hafez ESE, editor. Human semen and fertility regulation in

- men. Saint Louis: Mosby 1976; 144-152.
12. Drabovich AP, Saraon P, Jarvi K, Diamandis EP. Seminal plasma as a diagnostic fluid for male reproductive system disorders. *Nat. Rev. Urol.* 2014; 11: 278-288.
 13. Folk JE, Park MH, Chung SI, Schrode J, Lester EP, Cooper HL. Polyamines as physiological substrates for transglutaminases. *J. Biol. Chem.* 1980; 255: 3695-3700.
 14. Peterson RN, Freund M. Metabolism of human spermatozoa. In: Hafez ESE, editor. *Human semen and fertility regulation in men.* Saint Louis: Mosb, 1976; 176-186.
 15. Mann T, Jones R, Sherins RJ. Fructolysis in human spermatozoa under normal and pathological conditions. *J. Androl.* 1980; 1: 229-233.
 16. Emami N, Deperthes D, Malm J, Diamandis EP. Major role of human KLK14 in seminal clot liquefaction. *J. Biol. Chem.* 2008; 283: 19561-19569.
 17. Malm J, Jonsson M, Frohm B, Linse S. Structural properties of semenogelin I. *FEBS J.* 2007; 274: 4503-4510.
 18. Hafez ESE. *Human semen and fertility regulation in men.* Saint Louis: Mosby 1976.