Thesis Title Development of Flow-based Systems for Chemical Analysis Involving Biochemical Species

Author Mr. Kraingkrai Ponhong

Degree Doctor of Philosophy (Chemistry)

Thesis Advisory Committee

Prof. Dr. Kate Grudpan	Advisor
Prof. Dr. Tadao Sakai	Co-advisor
Prof. Dr. Hiroyuki Ukeda	Co-advisor
Assoc. Prof. Dr. Supaporn Kradtap Hartwell	Co-advisor
Asst. Prof. Dr. Somchai Lapanantnoppakhun	Co-advisor

ABSTRACT

Novel analytical methods involving biochemical species and/or biochemical reactions based on flow based system have been developed. These systems include *1)* rapid quantitative analysis of serum bone alkaline phosphatase as a biomarker for bone related diseases, *2)* automatic and fast analysis for investigation of inhibitory activity of antioxidant in the lipid peroxidation process and for the determination of lipid hydroperoxide as a parameter of oil quality control, *3)* precise and automatic system for study kinetics of an enzyme and for the determination of hydrogen peroxide and *4)* simple, automatic and rapid system to detect direct bilirubin and for successive evaluation of direct bilirubin together with creatinine for liver function test.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

A rapid automatic flow injection-bead injection (FI-BI) system was introduced for the assay of serum bone alkaline phosphatase (BALP) in different groups of patients to evaluate its effectiveness as a biomarker of bone cancer. The assay was based on specific interaction of BALP with wheat germ coated beads. Activities of BALP in osteosarcoma were compared to those in metastasis and sarcoma groups and also to those previously reported in osteoporosis patients. The FI-BI technique successfully quantitated BALP in human serum in approximately 15 min/sample as compared to 2~3 h using conventional ELISA. Based on statistical calculations, abilities of the FI-BI system and ELISA kit to distinguish normal from osteosarcoma group appeared to be comparable. The average and median of BALP levels found in various sample groups are significantly different and can be placed in the order of high to low as follows; osteosarcoma> sarcoma> metastasis>osteoporosis> normal.

Spectrophotometric sequential injection (SI) system for investigation of inhibition property of antioxidant compounds in lipid peroxidation process was developed with the reduction in analysis time and enhancement in the automation. The linoleic acid was used as a model system which was initially oxidized by 2,2'-azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride (AAPH) free radical to obtain lipid hydroperoxide. After that, lipid hydroperoxide was detected by ferric thiocyanate method. Amount of lipid hydroperoxide could be decreased in the present of antioxidants in the lipid peroxidation process, as it is believed to play a role of an inhibitor in oxidation of lipid. Chemical and physical parameters were examined to increase the analytical performance of this system. For selected conditions, the SI system could complete the operation in approximately 10 min/cycle including oxidation/anti-oxidation linoleic acid and detection lipid hydroperoxide steps. This

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

resulted in shorter analysis time of 10 min per sample instead of 5 h for batch-wise procedure. The results of inhibitory concentration at 50% (IC_{50}) and trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) provided from the developed system were well correlated with those results achieved by batch-wise procedure. Moreover, the developed SI system should be a good alternative for the determination of lipid hydroperoxide which is one of the parameters for oil and fat quality control based on ferric thiocyanate method. Benzoyl peroxide was appropriately used to make the standard calibration graph for the determination of lipid hydroperoxide. Linear range was up to 0.5 mM with a limit of detection (LOD) (3σ) of 0.015 mM of benzoyl peroxide. Relative standard deviation (RSD) of 1.3% was achieved at 0.3 mM for 11 injections and %recoveries were found to be in the range of 97.2-99.5%. The lipid hydropeoxide contents in 8 edible oil samples obtained by this method agreed well with that of batch-wise American Oil Chemists' Society (AOCS) method.

A sequential injection-lab-at-valve (SI-LAV) segmented flow system for kinetic study of an enzyme was developed. Air segments were introduced for separation of enzyme and substrate zones and separation of the stacked zones from the carrier solution. This ensures the measurement of the initial rate and minimizes the dilution/dispersion effect. The open-ended mixing chamber makes it possible to use air segments in the flow system without the need for additional air segment discarding steps. The kinetic parameters for the enzyme horseradish peroxidase (HRP) based on initial rate was used as a model study. The operation of the system is virtually the same as that of the conventional batch-wise process. The kinetic parameters (i.e. Km and Vmax) of HRP obtained using the proposed system agree well with those obtained using the batch-wise process. The proposed system offers

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

additional benefits in volume down scaling, improved rapidity and automatic features that does not require a skillful operator. SI-LAV segmented was successfully applied for quantification of hydrogen peroxide in chemical disinfectants and hair bleaching solution, based on catalytic oxidation of white radish *(Raphanus sativus)* peroxidase which is an alternative source of low cost plant peroxidase enzyme. A calibration graph could be performed in the range of 0-0.1 mM of H_2O_2 with LOD (3σ) of 3.8 μM. This flow system offered fast analysis (20 sample h^{-1}). Coefficient of variation (CV) was less than 2% for 0.03 mM with 11 runs. Therefore, SI-LAV air segmented flow system with white radish peroxidase can be used as a low cost and green chemical analysis alternative method for the detection of hydrogen peroxide for routine quality control.

A novel simultaneous injection effective mixing analysis system (SIEMA) with three channels for determination of direct bilirubin in urine sample was developed. Bilirubin reacts with diazotized sulfanilic acid in the presence of n-octyl-*β*-D-thioglucoside (OTG) as a solubilizing agent to form OTG-azobilirubin. The flow and chemical variables were investigated. A linear calibration graph for direct bilirubin was obtained over the range of 0–1.0 mg L^{-1} (r^2 = 0.994) with LOD (3σ) of 4.7 μg L^{-1}, and RSD being 1.9% of 0.5 mg L^{-1} of direct bilirubin (n = 11). The results in healthy adults urine obtained by the proposed approach were found in good agreement with those obtained by the batch-wise diazo method. Another configuration with four channels of SIEMA for successive determination of direct bilirubin and creatinine in urinary samples was further developed. Azobilirubin and creatinine-picrate complex were sequentially monitored at 535 nm. The calibration graphs were achieved up to 5.0 mg L^{-1} for direct bilirubin and 100 mg L^{-1} for

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

creatinine. RSDs of direct bilirubin (3 mg L^{-1}) and creatinine (50 mg L^{-1}) for 11 replications were 1.5% and 1.0% respectively. LOD (3σ) was obtained 7 μg L^{-1} for direct bilirubin and 0.6 mg L^{-1} for creatinine. The sample throughput for stepwise detection was 33 h^{-1}. The proposed method was successfully applied to the successive determination of direct bilirubin and creatinine in healthy urine samples. The results of direct bilirubin concentrations agreed well with those obtained by vanadate oxidation method. Direct measurement of direct bilirubin and creatinine by this method offered useful information on direct bilirubin/creatinine ratio.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบที่อาศัยการไหลเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับสารทางชีวเคมี

ผู้เขียน นายเกรียงไกร พลหงษ์

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เคมี)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศาสตราจารย์ ดร. เกตุ กรุดพันธ์	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ศาสตราจารย์ ดร. ทาดาโอะ ซาไก	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ศาสตราจารย์ ดร. ฮิโรยุกิ อุเคดะ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ ครัดทัพ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย ลาภอนันต์นพคุณ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์แนวใหม่ที่เกี่ยวข้องกับสปีชีส์ทางชีวเคมีและ/หรือปฏิกิริยาทางชีวเคมีโดยอาศัยระบบการไหล ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วย ๑) การวิเคราะห์เชิงปริมาณอย่างรวดเร็วของเซรั่มโบนฟอสฟาเทสอัลคาไลน์ซึ่งเป็นสารบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับโรคที่เกี่ยวข้องกับกระดูก ๒) การวิเคราะห์โดยอัตโนมัติและรวดเร็วเพื่อการศึกษากิจกรรมการยับยั้งของสารต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน และเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งของการควบคุมคุณภาพของน้ำมัน ๓) ระบบที่แม่นยำและอัตโนมัติสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์และการวิเคราะห์หาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ ๔) ระบบที่ง่ายมีความเป็นอัตโนมัติและรวดเร็วสำหรับการตรวจสอบหาปริมาณเด็อเร็คทบิลิรูบินและสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแบบตามลำดับของเด็อเร็คทบิลิรูบินพร้อมกับครีตินินเพื่อการทดสอบการทำงานของตับ

ระบบโฟลอินเจคชัน-บีดอินเจคชันที่รวดเร็วและอัตโนมัติถูกนำมาใช้สำหรับการทดสอบหาปริมาณของซีรั่มโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทส ในกลุ่มของผู้ป่วยที่แตกต่างกันเพื่อประเมินว่าสารนี้มีประสิทธิภาพในการเป็นสารบ่งชี้ทางชีวภาพของโรคมะเร็งกระดูก การวิเคราะห์จะอาศัยปฏิสัมพันธ์ที่เฉพาะเจาะจงของโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทสกับสารแลคตินที่ได้จากจมูกข้าวสาลีที่เคลือบบนบีด แอคติวิตีของโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทสในผู้ป่วยมะเร็งกระดูกชนิดออสติโอซาร์โคมาถูกนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มของผู้ป่วยที่อยู่ในการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งและกลุ่มของผู้ป่วยมะเร็งเนื้อเยื่ออ่อน และยังได้เปรียบเทียบกับรายงานก่อนหน้านี้ในผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทคนิคโฟลอินเจคชัน-บีดอินเจคชันประสบความสำเร็จในการวิเคราะห์หาปริมาณโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทสในซีรั่มของมนุษย์ใช้เวลาประมาณ ๑๕ นาทีต่อตัวอย่าง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเอนไซม์อิมมูโนแอสเสย์แบบธรรมดาพบว่าใช้เวลา ๒-๓ ชั่วโมง ระบบโฟลอินเจคชัน-บีดอินเจคชันและชุดเอนไซม์อิมมูโนแอสเสย์เมื่ออาศัยการคำนวณทางสถิติจะสามารถแยกกลุ่มคนปกติออกจากกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งกระดูกชนิดออสติโอซาร์โคมาได้อย่างชัดเจน ค่าเฉลี่ยและค่ากลางของระดับโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทสที่พบในหลากหลายกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถเรียงลำดับปริมาณโบนอัลคาไลน์ฟอสฟาเทสจากสูงไปต่ำได้ดังนี้ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งกระดูกชนิดออสติโอซาร์โคมา>กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งเนื้อเยื่ออ่อน>กลุ่มผู้ป่วยที่อยู่ในการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง>กลุ่มผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน>กลุ่มคนปกติ

ได้พัฒนาระบบสเปกโทรโฟโตเมตริกซีเควนเชียลอินเจคชันสำหรับการศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งของสารต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เพื่อลดเวลาการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบมีความเป็นอัตโนมัติ กรดลิโนเลอิกถูกใช้เป็นระบบต้นแบบสำหรับการศึกษา ซึ่งขั้นแรกจะถูกออกซิไดซ์ด้วยสารอนุมูลอิสระ ๒,๒'-เอโซบิส (๒-เมทิลโพรพิโอนาทิดิน) ไดไฮโดรคลอไรด์ ได้ลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้น หลังจากนั้นลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ถูกตรวจวัดโดยวิธีเฟริคไธโอไซยาเนต ปริมาณของลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะลดลงเมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากเป็นไปได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของระบบนี้พารามิเตอร์ต่างๆทางเคมีและทางกายภาพได้ถูกทำการศึกษา ภายใต้สภาวะที่เลือก ระบบซีเควนเชียลอินเจคชันทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในเวลาประมาณ ๑๐ นาทีต่อรอบ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนของการ ออกซิเดชัน/แอ๊นไท-ออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก และขั้นตอนตรวจวัดลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ผลที่ได้คือใช้เวลาในการวิเคราะห์ ๑๐ นาทีต่อตัวอย่าง แทนที่จะเป็น ๕ ชั่วโมงสำหรับการทดลองแบบแบทช์ ผลของความเข้มข้นที่ยับยั้งที่ ๕๐ เปอร์เซ็นต์ และค่าที่สัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานโทรล็อก (ทีอีเอซี) ที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องดีกับผลที่ทำได้ด้วยวิธีแบบแบทช์ นอกจากนี้ระบบซีเควนเชียลอินเจคชันที่พัฒนาขึ้นควรเป็นอีกทางเลือกที่ดีสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมคุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยอาศัยวิธีการเฟริคไธโอไซยาเนตในการวิเคราะห์ เบ็นโซอิวเปอร์ออกไซด์มีความเหมาะสมที่จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ช่วงความเป็นเส้นตรงสูงถึง ๐.๕ มิลลิโมลาร์ ที่ขีดจำกัดในการตรวจวัด ๐.๐๑๕ มิลลิโมลาร์ของเบ็นโซอิวเปอร์ออกไซด์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ ๑.๓ เปอร์เซ็นต์ ที่ ๐.๓ มิลลิโมลาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยฉีดซ้ำทั้งหมด ๑๑ ครั้ง และร้อยละการได้กลับคืนพบว่าอยู่ในช่วง ๙๗.๒-๙๙.๕ เปอร์เซ็นต์ ปริมาณลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่มีใน ๘ ตัวอย่างน้ำมันพืชที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีการนี้มีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการทดลองแบทช์

ได้พัฒนาระบบซีเควนเชียลอินเจคชันแลบเอดวาล์วเซ็กเมนต์โฟลสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ เซ็กเมนต์อากาศได้ถูกนำมาใช้สำหรับขั้นระหว่างโซนเอนไซม์และโซนสับสเตรท และแยกโซนเอนไซม์สับเสตรทออกจากสารละลาย ซึ่งทำให้แน่ใจในการวัดอัตราเริ่มต้น และลดการเจือจาง/การกระจายตัวของสาร ช่องผสมสารแบบปลายเปิดช่วยให้สามารถใช้ส่วนของอากาศในระบบโฟลได้โดยไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการกำจัดอากาศทิ้งเพิ่มเติม เอนไซม์ฮอสแรดิชเปอร์ออกซิเดสถูกใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรทางจลนพลศาสตร์โดยอาศัยอัตราเริ่มต้น การทำงานของระบบเป็นเสมือนกระบวนที่ดำเนินการด้วยแบบแบทช์ธรรมดา ตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ เช่น ค่าคงที่ของมิเชลิสและอัตราเร็วสูงสุดของฮอสแรดิชเปอร์ออกซิเดสที่ได้จากการใช้ระบบที่เสนอมีความสอดคล้องกันดีกับค่าที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์ ระบบที่นำเสนอมีประโยชน์เพิ่มเติมอื่นๆในแง่ของการลดปริมาณสาร เพิ่มความเป็นอัตโนมัติและความรวดเร็ว อีกทั้งยังไม่ต้องใช้ผู้ทำการทดลองที่มีทักษะความชำนาญมากอีกด้วย ซีเควนเชียลอินเจคชันแลบเอดวาล์วเซ็กเมนต์ได้ประสบความสำเร็จในการประยุกต์สำหรับหาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำยาฆ่าเชื้อสารเคมีและน้ำยาฟอกสีผมโดยอาศัยการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากหัวไชเท้าซึ่งเป็นอีกทางเลือกสำหรับแหล่งของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากพืชที่ราคาถูก กราฟมาตราฐานสามารถแสดงในช่วง ๐-๐.๑ มิลลิโมลาร์ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยขีดจำกัดในการตรวจวัด ๓.๘ ไมโครโมลาร์ ระบบการไหลนี้สามารถให้การวิเคราะห์ที่รวดเร็ว (๒๐ ตัวอย่างต่อชั่วโมง) ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผันมีค่าน้อยกว่า ๒ เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น ๐.๐๓ มิลลิโมลาร์ โดยการทดลองซ้ำ ๑๑ ครั้ง ดังนั้นซีเควนเชียลอินเจคชันแลบเอดวาล์วเซ็กเมนต์โดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากหัวไชเท้าสารมารถใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการวิเคราะห์ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและการวิเคราะห์ทางเคมีสีเขียวสำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมคุณภาพแบบประจำ

ได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์แนวใหม่ไซมัลเทเนียสอินเจคชันอิเฟ็กทิฟมิคซิงค์อะเนลลิซิส (เซียมา) ที่มีสามช่องสำหรับนำสารเข้าเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของเด็อเร็คทบิลิรูบินในตัวอย่างปัสสาวะ บิลิรูบินทำปฏิกิริยากับไดอะโซไตซ์ของกรดซัลฟานิลิกที่มี เอน-ออกทิล-เบต้า-ดี-ไธโอกลูโคไซด์ (โอทีจี) ซึ่งเป็นสารช่วยละลายได้เป็น โอทีจี-อะโซบิลิรูบิน ตัวแปรการไหลและตัวแปรทางเคมีได้ถูกทำการศึกษา กราฟความเข้มข้นมาตรฐานเชิงเส้นตรงสำหรับเด็อเร็คทบิลิรูบินที่ได้อยู่ในช่วง ๐-๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ขีดจำกัดในการตรวจวัด ๔.๗ ไมโครกรัมต่อลิตร และค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ ๑.๙ เปอร์เซ็น ของ ๐.๕ มิลลิกรัมต่อลิตร ของเด็อเร็กทบิลิรูบิน (๑๑ ซ้ำ) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัสสาวะผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีด้วยวิธีที่นำเสนอพบว่าได้ผลสอดคล้องดีกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแบทช์ไดอะโซ การออกแบบระบบเซียมาแบบอื่นๆ ที่มีสี่ช่องทางในการนำเข้าสารสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแบบตามลำดับขั้นของเด็อเร็กทบิลิรูบินและครีตินินในตัวอย่างปัสสาวะได้รับการพัฒนาต่อไป อะโซบิลิรูนบินและส่ารประกอบเชิงซ้อนของครีตินิน-พิเครทถูกตรวจติดตามอย่างเป็นลำดับที่ ๕๓๕ นาโนเมตร กราฟมาตรฐานสำหรับเด็อเร็กทบิลิรูบินที่ได้สูงถึง ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับครีตินินสูงถึง ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของเด็อเร็กทบิลิรูบิน (๓ มิลลิกรัมต่อลิตร) และครีตินิน (๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด ๑๑ ครั้ง มีค่าเท่ากับ ๑.๕ และ ๑.๐ เปอร์เซ็นตามลำดับ ขีดจำกัดในการตรวจวัดที่ได้คือ ๗ มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับเด็อเร็กทบิลิรูบิน และ ๐.๖ มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับครีตินิน ปริมาณของตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้แบบเป็นลำดับขั้นคือ ๓๓ ตัวอย่างต่อชั่วโมง วิธีที่นำเสนอถูกนำประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณแบบตามลำดับของเด็อเร็กทบิลิรูบินและครีตินินในตัวอย่างปัสสาวะผู้ที่มีสุขภาพดี ผลที่ได้ของความเข้มข้นเด็อเร็กทบิลิรูบินสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากวิธีการออกซิเดชันด้วยวาเนเดต การตรวจวัดโดยตรงของเด็อเร็กทบิลิรูบินและครีตินินให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการหาอัตราส่วนของเด็อเร็กทบิลิรูบินต่อครีตินิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved