บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เส้นประสาทที่มาเลี้ยงเนื้อเยื่อในและเนื้อฟัน (Innervation of pulp & dentin)

ภายในโพรงประสาทฟันจะมีเส้นประสาทรับความรู้สึกอยู่มาก ตลอดระยะทางของเส้นประสาทตั้งแต่ปลายรากฟันจนถึงโพรงฟันในส่วนตัวฟัน (coronal pulp) เส้นประสาทจะแตกแขนง และสุดท้ายจะรวมเป็นตาข่ายหนาแน่น (dense network) ที่มีเส้นใยประสาทเล็กๆในบริเวณรอยต่อของเนื้อเยื่อในและเนื้อฟัน (pulp-dentin border) หนึ่งแอกซอน (axon) จะแตกแขนงเข้าไปในท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) ได้มากกว่า 100 ท่อ จำนวนของเส้นประสาทในท่อเนื้อฟันจะเปลี่ยนแปลงได้มากโดยจะมีมากที่สุดในบริเวณพรีเดนทีน (predentin) ของยอดโพรงฟัน (pulp horn) ซึ่งประมาณ 25% ของท่อเนื้อฟันในฟันกรามน้อยของคนจะมีเส้นใยประสาทอยู่ จำนวนของท่อเนื้อฟันที่บรรจุเส้นใยประสาทนี้จะเปลี่ยนแปลงได้มากในบริเวณต่างๆของฟัน เช่นบริเวณยอดโพรงฟันจะมีจำนวนของท่อเนื้อฟันมากกว่า 40% ที่บรรจุเส้นใยประสาท บริเวณคอฟันจะมี 0.2-1% และบริเวณรากฟัน (root dentin) จะมีเพียง 0.02-0.2% เท่านั้น

เส้นใยประสาทในท่อเนื้อฟันเหล่านี้จะผ่านเข้าไปถึงชั้นพรีเดนทีนหรือเนื้อฟันเป็นระยะทางสั้นๆ ส่วนบริเวณรากฟัน เส้นใยประสาทจะมีขนาดเล็ก และมีขอบเขตไปได้ถึงบริเวณพรีเดนทีน เส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve fiber) ของฟันประกอบด้วยเส้นประสาทที่มีเยื่อไมอีลิน (myelin)หุ้ม เรียกว่าชนิด A และที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มเรียกชนิด C ชนิด A ยังแบ่งย่อยไปอีกเป็น A∝,Aß, Aδ ขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของแอกซอน และความเร็วในการนำกระแสประสาท (conduction velocity) เส้นประสาทชนิด A มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1-4 ไมครอน มีความเร็วในการนำกระแสประสาท 4 - 30 เมตรต่อวินาที ส่วนใหญ่เส้นประสาทชนิด A ในฟันจะเป็นชนิด Aδ ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัส อุณหภูมิ และความเจ็บปวด เส้นประสาทชนิด Aδ นี้จะมีความไวต่อการถูกกระตุ้นมากกว่าชนิด C ความรู้สึกเจ็บปวดจะเป็นแบบปวดจี๊ด (sharp pain) บอกตำแหน่งได้แน่นอน ซึ่งความรู้สึกเสียวฟันจะนำโดยเส้นประสาทชนิดนี้ ส่วนเส้นประสาทชนิด C มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน มีความเร็วในการนำกระแสประสาท

0.5-2 เมตรต่อวินาที ทำหน้าที่รับความรู้สึกเจ็บปวดชนิดปวดตื้อๆ (dull pain) และแผ่กระจายเป็นวงกว้าง (diffuse & radiating pain) เส้นประสาทชนิด C จะตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่ก่อให้เกิดอันตราย (noxious stimuli) ซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อเยื่อใน (pulp) (Trowbridge, 1986)

ทฤษฎีของการเกิดความรู้สึกเสียวฟัน

ปัจจุบันยังไม่พบกลไกที่แน่นอนเกี่ยวกับการเกิดอาการเสียวฟัน มีทฤษฎีหรือสมมุติฐานที่ใช้อธิบายการเกิดความรู้สึกดังกล่าวได้ 3 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีเส้นประสาทสิ้นสุดโดยตรง (Direct nerve ending theory)

ทฤษฎีนี้เชื่อว่า ภายในส่วนของเนื้อฟันและท่อเนื้อฟันจะมีเส้นใยประสาทอยู่ด้วย เมื่อเนื้อฟันได้รับการกระตุ้นจากภายนอก เส้นใยประสาทจะได้รับการกระตุ้นโดยตรง แต่จากการศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์พบว่า เนื้อฟันส่วนนอกมีเส้นประสาทอยู่น้อยมาก เส้นใยประสาทที่อยู่ในท่อเนื้อฟันจะมีอยู่ภายใน 1/3 ของเนื้อฟันเท่านั้น (inner one-third) และไม่พบเส้นใยประสาทที่ยื่นเข้าไปในเนื้อฟันไกลเกินกว่า 100 ไมครอน (Scott & Tempel, 1965) ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า ภาวะการเสียวฟันไม่สามารถถูกกำจัดโดยการใช้ยาชาเฉพาะที่ทาที่ผิวฟัน

2. ทฤษฎีเซลล์สร้างเนื้อฟันเป็นหน่วยรับความรู้สึก (Odontoblast receptor theory)

ทฤษฎีนี้เชื่อว่าเซลล์สร้างเนื้อฟัน(odontoblast)จะทำหน้าที่รับและส่งต่อสิ่งกระตุ้นไปยังปลายประสาทในโพรงประสาทฟัน Frank (1968) และFrank, Sauvage และ Frank(1972) พบว่า มีการสัมผัสโดยตรงระหว่างเซลล์สร้างเนื้อฟันกับเส้นประสาทในโพรงประสาทฟันด้วย พรีเดนทีนและเนื้อฟันที่อยู่รอบๆโพรงประสาทฟันส่วนที่มีการพอกพูนเกลือแร่ (circumpulpal mineralized dentin) เขาพบว่ามีการม้วนตัวของเส้นใยประสาทในส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟัน (odontoblastic process) ในท่อเนื้อฟัน จึงสรุปว่า ส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟันและเส้นใยประสาทประกอบกันเข้าเป็นหน่วยรับความรู้สึก (receptor complex) ถ้าทฤษฎีนี้เป็นจริงก็จะต้องมีส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟันยื่นยาวไปถึงรอยต่อของเนื้อฟันและเคลือบฟัน(dentine enamel

border) แต่จากการใช้ กล้องจุลทัศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด(SEM) พบว่า เส้นใยในท่อเนื้อฟัน (intratubular fiber)นั้นเป็นเส้นใยคอลลาเจน ไม่ใช่ส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟัน ดังนั้นถ้าส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟันไม่ได้อยู่เต็มความยาวของท่อเนื้อฟัน จะไม่สามารถใช้ทฤษฎีนี้อธิบายภาวะการเสียวฟันได้

3. ทฤษฎีการเคลื่อนของของเหลว (Hydrodynamic theory)

ทฤษฎีนี้เป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบัน อธิบายว่าภายในท่อเนื้อฟันจะมีของเหลว (dentinal fluid) บรรจุอยู่ ของเหลวนี้จะกระจายไปถึงชั้นเซลล์สร้างเนื้อฟันซึ่งอยู่ใกล้โพรงประสาทฟัน บริเวณนี้จะมีเส้นใยประสาทตามขอบ (marginal nerve fiber) มาสิ้นสุดจำนวนมาก เมื่อมีสิ่งกระตุ้นจากภายนอกจะทำให้มีการเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟันได้ 2 ลักษณะ คือ เคลื่อนที่เข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากประสาทฟัน ขึ้นกับชนิดของสิ่งที่ถูกกระตุ้น ผลจากการเคลื่อนของของเหลวจะทำให้เกิดแรงกดไปกระตุ้นเส้นประสาทฟันที่ทำหน้าที่รับความรู้สึก ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณประสาท โดยมีหน่วยรับความรู้สึก(sensory receptor) ที่อยู่บริเวณรอยต่อของเนื้อเยื่อในและเนื้อฟัน(pulp-dentin junction) (Brannstorm , 1966; Brannstorm, Lindenและ Johnson, 1968; Brannstorm และ Astorm, 1972)

ยาสีฟัน (Toothpastes)

ยาสีฟัน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับแปรงสีฟันในการทำความสะอาดฟัน ชาวกรีกโบราณทำความสะอาดฟันโดยใช้ผงขัด เช่น หินพัมมิซ ทาลคัม หินปูน ผงปะการัง สนิมเหล็ก ฮิปโปเครติสใช้หัวกระต่ายป่า 1 หัวบดรวมกับหนู 3 ตัว ส่วนชาวโรมันโบราณใช้กระดูกและเขาสัตว์มาป่น แล้วเติมเครื่องหอมลงไป ซึ่งเห็นได้ว่ายาสีฟันผงเหล่านี้ได้ให้ความสำคัญต่อผงขัด และมีการควบคุมความหยาบของผงขัดด้วย ความแตกต่างของยาสีฟันโบราณและปัจจุบันอยู่ที่ส่วนประกอบและการปรับปรุงในเรื่องของการเป็นเครื่องสำอางค์และตัวยาที่ใส่เข้าไป

ในยุคแรกๆ นั้น ใช้ยาสีฟันเพื่อบรรเทาความปวดฟัน ทำให้ฟันขาว และเพื่อป้องกันฟันผุ ปัจจุบันวัตถุประสงค์ของการใช้ยาสีฟันเพื่อกำจัดคราบจุลินทรีย์และคราบสีบนตัวฟัน ให้

ปากสะอาดสดชื่นและเป็นสื่อนำตัวยาไปสู่ฟันและเนื้อเยื่อในช่องปาก การที่จะบรรลุถึงจุดประสงค์ทั้ง 3 ข้อนี้ขึ้นกับส่วนประกอบของยาสีฟันนั้นๆ

ปัจจุบันการผลิตยาสีฟันได้รับอิทธิพลจากการตลาด ผู้บริโภคจะต้องการประโยชน์สูงสุดทั้งด้านการรักษาและการเป็นเครื่องสำอางค์ อาจเป็นเพราะผู้บริโภคคาดหวังจะได้ประโยชน์จากยาสีฟันในด้านการทำความสะอาดฟัน ทำให้ฟันรู้สึกเรียบลื่น กำจัดคราบจุลินทรีย์ และลดฟันผุ ยาสีฟันได้กลายเป็นของใช้ที่จำเป็นในชีวิตประจำวันของคนจำนวนมาก บริษัทผู้ผลิตจึงได้ทำการค้นคว้าวิจัยเพื่อนำมาปรับปรุง และเสริมคุณภาพของยาสีฟันเพื่อจูงใจผู้ใช้ ยาสีฟันที่จำหน่ายได้ดีต้องมีคุณสมบัติ 2 อย่างคือ ทำให้ฟันสะอาดสดชื่น และมีผลในการป้องกันและรักษาโรคของเหงือกและฟันด้วย กลิ่นและรสของยาสีฟันยังมีส่วนช่วยจูงใจให้คนชอบหรือไม่ชอบการแปรงฟันได้

ในประเทศไทยได้ให้ความสำคัญแก่การผลิตยาสีฟันเพื่อให้มีประสิทธิภาพ ไม่เป็นอันตรายแก่ผู้ใช้ จึงได้มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขึ้น และได้ให้คำนิยามของยาสีฟันไว้ดังนี้

"ยาสีฟัน หมายถึง วัตถุที่เป็นผง ของเหลวข้น หรือของเหลวชนิดใส ที่ใช้ในการทำความสะอาดฟัน อาจผสมฟลูออไรด์หรือไม่ก็ได้"

ตามคำนิยามนี้ได้แบ่งยาสีฟันออกเป็น 3 ประเภทคือ

- ยาสีฟันผง (tooth powder)
- ยาสีฟันเหลวข้น (toothpaste)
- ยาสีฟันเหลวข้นชนิดใส (gelatine, translucent toothpaste)

ยาสีฟันผงมีผู้นิยมใช้น้อยลง เนื่องจากการใช้ไม่สะดวก และไม่ดีในด้านการเป็นสื่อนำตัวยา และการกำหนดปริมาณแน่นอนของตัวยาเป็นไปได้ยาก

ยาสีฟันเหลวข้นและยาสีฟันเหลวข้นชนิดใสจะมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน มีความข้นพอเหมาะเมื่อบีบลงบนแปรงสีฟัน มีกลิ่น รส และสีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้เป็นลักษณะเฉพาะของยาสีฟันแต่ละชนิด ซึ่งเป็นเทคนิคของบริษัทผู้ผลิต

ส่วนประกอบของยาสีฟัน ยาสีฟันประกอบด้วย

1. สารขัดสี (abrasives)
2. สารควบคุมความเหนียวข้นและประกอบเป็นยาสีฟัน(binder&thickener)
3. สารที่ทำให้เกิดฟอง(surfactant/foaming agent)
4. สารควบคุมความชื้น(humectant)
5. สารแต่งกลิ่น และรส (flavouring agent)
6. สารที่เป็นยา (therapeutic /active agent)

(ถ้าเป็นยาสีฟันเหลวข้น จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้นอีก)

1. สารขัดสี วัตถุประสงค์ในการใช้สารขัดสีในยาสีฟันคือ เพื่อช่วยขจัดคราบสี (stained pellicle) ที่เกิดจากอาหารและเครื่องดื่ม ส่วนการกำจัดคราบจุลินทรีย์บนตัวฟันเกิดจากการใช้แปรงสีฟัน สารขัดสีหรือผงขัดไม่ใช่วัสดุที่เหมาะสมที่สุดที่จะกำจัดคราบสีบนตัวฟัน เป็นเพียงวัสดุที่มีความปลอดภัยมากที่สุดเท่าที่จะหาได้ สารขัดสีที่นิยมใช้เป็นสารสังเคราะห์เพราะสามารถควบคุมความบริสุทธิ์ ลักษณะทางกายภาพ และความสม่ำเสมอได้ สารขัดสีควรจะมีเนื้อละเอียด ไม่ทำอันตรายต่อตัวฟัน สารขัดสีที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยินยอมให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต(calcium carbonate) ไดแคลเซียมฟอสเฟต(dicalcium phosphate) แมกนีเซียมคาร์บอเนต(magnesium carbonate) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์(magnesium hydroxide) แคลเซียมไดฟอสเฟต (calcium diphosphate) ซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) โซเดียมเมตาฟอสเฟตที่ไม่ละลาย(insoluble sodium metaphosphate) แคลเซียมไพโรฟอสเฟต (calcium pyrophosphate) อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์(aluminium hydroxide)

ยาสีฟันเหลวข้นชนิดใสมักใช้สารสังเคราะห์ซิลิกาเซอโรเจลที่เป็นอสัณฐาน (amorphous silica zirogel) และสารผสมที่เป็นอสัณฐานของเกลืออลูมิโนซิลิเกต (amorphous complex aluminosilicate salt) เป็นสารขัดสี

ความสามารถในการขัดฟันของยาสีฟันขึ้นกับขนาดของสารขัดสี ถ้ามีขนาดใหญ่จะกำจัดคราบสีบนตัวฟันได้ง่าย แต่ก็ทำให้ฟันสึกได้มาก สารขัดสีที่เป็นส่วนประกอบในยาสีฟันจะมีปริมาณตั้งแต่ 20-40% แล้วแต่ชนิดของสารขัดสีและชนิดของยาสีฟัน สารพวกซิลิกาจะใช้ในปริมาณน้อยกว่า แคลเซียมฟอสเฟต

สารขัดสีควรมีขนาดเล็ก และปริมาณเพียงพอที่จะกำจัดคราบสีบนตัวฟันได้ แต่ไม่หยาบจนทำให้ฟันสึก ยาสีฟันบางชนิดผลิตสำหรับผู้ที่มีคราบสีบนตัวฟันมาก เช่น ผู้ที่สูบบุหรี่ ยาสีฟันดังกล่าวจะมีสารขัดสีที่หยาบเพื่อขจัดคราบดังกล่าว ซึ่งคนทั่วไปไม่ควรใช้

2. สารควบคุมความเหนียวข้น ทำหน้าที่ให้ยาสีฟันรวมตัวกันได้ในส่วนที่เป็นของแข็งและน้ำ สามารถคงตัวอยู่ได้เมื่อบีบจากหลอดยาสีฟัน ในระยะแรกใช้แป้งเป็นสารควบคุม ต่อมาใช้พวกกัมไอริสมอส (gum irismos) คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose) ไฮโดรฟิลิคคอลลอยด์ (hydrophilic colloid) แมกนีเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (magnesium aluminium silicate) สารดังกล่าวจะพองตัวเมื่อมีน้ำ สารควบคุมความเหนียวข้นควรจะความ เฉื่อย ไม่ทำปฏิกริยากับส่วนประกอบอื่นๆในยาสีฟัน แต่มักทำให้เชื้อราเจริญขึ้นมาได้ บางครั้งจึงจำเป็นต้องใส่สารช่วยถนอมยา เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

3. สารที่ทำให้เกิดฟอง มีความสำคัญในยาสีฟันเพราะช่วยทำให้ฟันลื่น โดยลดแรงตึงผิว และจะแทรกซึมเข้าไปทำให้คราบที่ติดบนตัวฟันนั้นหลุดออก และสุดท้ายจะเข้าไปรวมตัวทำให้สิ่งที่อยู่บนผิวฟันนั้นหลุดออกมาพร้อมกับยาสีฟัน ผู้ใช้จะรู้สึกถึงการมีฟองเมื่อเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว และทำให้เกิดความพึงพอใจ สารที่นิยมใช้ได้แก่

- โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium loryl sulfate)
- โซเดียมลอริลซาร์โคไซด์ (sodium loryl sarcoside)
- โซเดียมโมโนกลีเซอไรด์ซัลเฟต(sodium monoglyceride sulfate)
- เอธาโนเอตของกรดไขมัน

สำหรับสารที่ใช้กันมาก คือ โซเดียมลอริลซัลเฟตมีความสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในคราบจุลินทรีย์ ทำให้การสะสมแผ่นคราบจุลินทรีย์เกิดช้าลง และออกฤทธิ์ร่วมกับสารขัดสีในยาสีฟันได้

4. สารควบคุมความชื้น ทำให้ส่วนประกอบของยาสีฟันกลมกลืน และเป็นของเหลวข้นอยู่ได้ ทำให้เนื้อยามีความสม่ำเสมอ ไม่แห้ง สารนี้จะไม่มีในยาสีฟันผง สารเหล่านี้มักให้รสหวานด้วย ที่นิยมใช้ได้แก่ กลีเซอรีนซอร์บิทอล (glycerine sorbitol) โพรพิลีนไกลคอล

(propylene glycol) ซึ่งไม่ทำให้ฟันผุเพราะไม่ทำให้เกิดกรดจากปฏิกริยาของแบคทีเรีย แต่ก็ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี จึงต้องใส่สารถนอมยาลงไปด้วย

น้ำก็เป็นสารควบคุมความชื้นเช่นเดียวกัน แต่ระเหยได้ง่าย เมื่อน้ำระเหยไป ยาสีฟันจะแห้งแข็ง และไม่เป็นของเหลวข้นอีกต่อไป

5. สารแต่งกลิ่นและรส สารแต่งกลิ่นมักเป็นพวกน้ำมันหอมระเหยจากพืช หรือเป็นกลิ่นที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นสิ่งสำคัญในการจูงใจผู้ใช้ ทำให้รู้สึกสดชื่น สารแต่งกลิ่นที่ใช้มากได้แก่ มินท์ วินเทอร์กรีน เปปเปอร์มินท์ และ เมนธอล ส่วนยาสีฟันสำหรับเด็กมักนิยมใส่กลิ่นผลไม้ เช่น กลิ่นเชอรี่ สตรอว์เบอร์รี่ กล้วยหอม เป็นต้น

สารแต่งรสมักเป็นรสหวาน ยาสีฟันจะมีรสหวานอยู่แล้วจากสารควบคุมความชื้น ได้แก่ กลีเซอรีน และซอร์บิทอล สารเพิ่มความหวานที่ใช้ในยาสีฟันได้แก่พวกน้ำตาลเทียม เช่น แซคคาริน (saccharin) ไซคลาเมต(cyclamate) และแอสปาร์แตม(aspartam) ข้อเสียของสารแต่งรสคือทำให้ยาสีฟันสำหรับเด็กมีรสหวาน และทำให้เด็กกลืนยาสีฟันได้มาก ซึ่งไม่ใช่สิ่งที่ต้องการ

สารถนอมยา (preservatives) ที่ใช้กันมาก ได้แก่ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิค (hydroxybenzoic acid) และ โซเดียมเบนโซเอท (sodium benzoate) เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราในยาสีฟัน

6. สารที่เป็นยา (therapeutic agents) ที่ใส่ลงในยาสีฟัน มักมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ป้องกันฟันผุ
2. ลดคราบจุลินทรีย์และเหงือกอักเสบ
3. ลดคราบหินน้ำลาย
4. ลดอาการเสียวฟัน

สารเป็นยาที่ใส่ลงในยาสีฟันจะออกฤทธิ์ได้ดีขึ้นกับการเข้าไปถึงที่ๆสารนั้นจะออกฤทธิ์ได้ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่สารนั้นจะมีผล ทั้งนี้สารดังกล่าวจะต้องไม่ถูกทำลายโดยส่วนประกอบอื่นๆ ของยาสีฟัน ซึ่งมักเป็นพวกสารลดความตึงผิวและสารขัดสี และไม่ถูกทำลายใน

ระหว่างขั้นตอนของการผลิต (พวงเพ็ชร เดชะปทุมวัน,2536; Pader, 1989; Stadtler และ Holler, 1992)

ยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์ (Strontium Chloride Dentifrice)

เริ่มมีการใช้สตรอนเชียมคลอไรด์ 25 % รักษาอาการเสียวฟันมาตั้งแต่ค.ศ. 1956 ปัจจุบันใช้สตรอนเชียมคลอไรด์ 10 % (10 % $SrCl_2 . 6 H_2O$) ผสมลงในยาสีฟัน ซึ่งมีผู้ศึกษากันมาก ตั้งแต่ลดอาการเสียวฟันได้บางส่วนจนถึงหายอย่างสมบูรณ์มากกว่า 30-80 % ของผู้ที่อยู่ในกลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตาม การลดอาการเสียวฟันก็พบในกลุ่มควบคุมด้วย ซึ่งอาจเป็นผลจากการหายเองตามธรรมชาติ หรือ มาจากส่วนประกอบในยาหลอก (placebo) แต่ก็มีบางการทดลองที่ได้ผลไม่ค่อยดีในการรักษา การวิจัยในระยะหลังใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐานมากขึ้น พบว่าสตรอนเชียมคลอไรด์ลดอาการเสียวฟันได้ดีกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งใช้ยาหลอก โดย Minkoff และ Axelrod (1987) ทำการทดลองนาน 12 สัปดาห์ในอาสาสมัคร 57 คน เมื่อกลุ่มทดลองซึ่งใช้ยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีอาการดีขึ้น 31 % กลุ่มควบคุมมีอาการดีขึ้น 11% หลังจากการใช้ยาสีฟันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีอาการดีขึ้น 79 % ขณะที่กลุ่มควบคุมมีอาการดีขึ้นเพียง 21 % ในปีเดียวกัน Addy , Mostafa และ Newcombe พบว่า ยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์(Sensodyne) มีประสิทธิผลในการลดอาการเสียวฟัน อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนและหลังจากการใช้ 6 สัปดาห์ โดยมีประสิทธิผลเหนือกว่ายาสีฟันควบคุมซึ่งมีสารขัดสีเพียงอย่างเดียวเมื่อประเมินโดยใช้ความรู้สึกของผู้ถูกทดลอง แต่เมื่อใช้จำนวนฟันที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วย thermo-electric probe หรือลมเย็น จะมีประสิทธิผลด้อยกว่ายาสีฟันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน Tarbet และคณะ (1982) รายงานผลการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่าสตรอนเชียมคลอไรด์มีประสิทธิผลในการลดการเสียวฟัน จากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ลมเย็น และการถามความรู้สึกของอาสาสมัคร (subjective response) อย่างไรก็ตาม 2 การทดลองหลังเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิผลของยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์กับยาสีฟันซึ่งมีตัวยาอื่น ซึ่งสรุปได้ว่า สตรอนเชียมคลอไรด์ให้ผลที่ไม่ดีนัก

การทดลองส่วนมากมักทำในผู้ที่มีอาการเสียวฟันจากเหงือกร่น ฟันสึก แต่ Uchida และคณะ (1980) ทำการศึกษาในผู้ที่มีอาการเสียวฟันหลังจากการทำศัลยปริทันต์ พบว่าในกลุ่มทดลองมีคะแนนความเสียวฟันจากการกระตุ้นด้วยการสัมผัส (mechanical stimulation) น้ำเย็น และ

ลมเย็นเพิ่มขึ้นจากเดิม 1.2 ก่อนผ่าตัดเป็น 2.6 หลังการผ่าตัด 1 สัปดาห์ ต่อจากนั้นจะลดลงเป็น 0.6 หลังการใช้ยาสีฟัน 7 สัปดาห์ (76%) ส่วนกลุ่มควบคุมคะแนนความเสียวฟันลดลง 34% การทดลองนี้บ่งบอกว่า การทำศัลยปริทันต์ทำให้เกิดอาการเสียวฟัน และยาสีฟันสตรอนเชียม-คลอไรด์สามารถลดอาการดังกล่าวได้

สำหรับกลไกในการลดอาการเสียวฟัน (mechanism of action) ของสตรอนเชียม-คลอไรด์นั้น Hodge, Gavette และ Thomas (1946) พบว่า สตรอนเชียมสามารถถูกดูดซับ (adsorb)ไปสู่เนื้อเยื่อที่มีแคลเซียมและเนื้อฟัน ส่วน Kun (1976 อ้างถึงใน Trowbridge และ Silver,1990)) พบว่า การทาสตรอนเชียมคลอไรด์เข้มข้นบนผิวเนื้อฟันที่สึกจะทำให้เกิดการจับ (deposit) ของสตรอนเชียมซึ่งจะแทรกซึมไปสู่เนื้อฟันลึกประมาณ 20 ไมครอนและแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟัน Dedhiya, Young และ Miguchi(1973) พบว่าการจับของสตรอนเชียมเกิดขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนกับแคลเซียมในเนื้อฟัน ทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนสตรอนเชียมอพาไทท์ (strontium apatite complex) Penny และ Karlsson (1976) ทำการทดลองในสุนัข พบว่า สตรอนเชียมสามารถแทรกซึมเข้าไปในรากฟันได้มาก และจากการที่สตรอนเชียมคลอไรด์ละลายน้ำได้ปานกลาง มันอาจแพร่กลับออกไปได้อย่างรวดเร็วถ้าไม่มีสิ่งห่อหุ้ม แต่ถ้ามีแผ่นคราบฟัน(acquired pellicle)ซึ่งยังคงอยู่ที่ผิวรากฟันหลังจากการแปรงฟันจะช่วยเป็นตัวกรองที่ทำหน้าที่คัดเลือก(selective filter) และรักษาความเข้มข้นของสตรอนเชียมคลอไรด์ไว้ได้

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษากันมากถึงกลไกของสตรอนเชียมคลอไรด์ที่ถูกรวมเข้าไปในสภาวะเกลือแร่ (mineral phase) ของกระดูกและฟัน สันนิษฐานว่า ขั้นตอนแรกของการเข้าไปยึด (fixation) คือ การแลกเปลี่ยนแบบแทนที่ (ion exchange displacement) ของแคลเซียมอิออนที่ผิวอพาไทท์ที่เล็กมากในกระดูก (Glas และ Lagergen, 1961) การแทนที่ของแคลเซียมที่อยู่ภายในผลึก (intra-crystalline calcium apatite) โดยสตรอนเชียมจะทำให้เกิดแคลเซียมสตรอนเชียม-อพาไทท์ (calcium strontium apatite) และจากการที่เนื้อฟันและกระดูกมีส่วนประกอบเป็นแร่ธาตุที่คล้ายกัน จึงทำให้ผิวฟันสามารถรับสตรอนเชียมในปริมาณสูงๆได้ (Volker และ Sognnaes, 1941) และสามารถดูดซับไว้ในเนื้อเยื่อยึดต่อส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟันในท่อเนื้อฟัน การรับสตรอนเชียมนี้ไม่เกิดอย่างถาวร (Gedaliaและคณะ, 1976) ในปี 1978 Gedaliaและคณะพบว่า เนื้อฟันที่จุ่มอยู่ในสารละลายสตรอนเชียมคลอไรด์จะมีการทึบต่อรังสีเอ็กซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งไม่น่าจะเป็นการเกิดที่พื้นผิว(surface action) แต่อาจเกิดจากการตก

ตะกอนใหม่ของแคลเซียม การทึบต่อรังสีเอ็กซ์นี้ไม่ใช่ส่วนสำคัญในการลดอาการเสียวฟัน แต่อาการดังกล่าวลดลงเนื่องจากมีการพอกพูนแร่ธาตุ(mineralization)ซึ่งทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเนื้อฟัน (permeability) ลดลง ส่วนGreenhill และ Pashley (1981) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า สตรอนเชียมคลอไรด์ไม่สามารถลดการเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟันได้ Addy และ Morgan(1982)ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด(SEM) พบว่า สตรอนเชียมคลอไรด์ไม่ทำให้ท่อเนื้อฟันแคบลง แต่ยาสีฟันที่มีสตรอนเชียมคลอไรด์จะมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าได้เล็กน้อย

แม้ว่าผลการทดลองที่ผ่านมาจะมีทั้งด้านบวกและด้านลบ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับยาสีฟันอื่นจะไม่แน่นอน แต่จากการประเมินของ Council on Dental Therapeutics of ADA ก็ยอมรับถึงประโยชน์ และความปลอดภัยของยาสีฟันนี้ว่า สามารถบรรเทาความไม่สบายจากอาการ เสียวฟันได้

โปตัสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate - KNO_3)

คุณสมบัติทางยา(Pharmacology of potassium nitrate)

คุณสมบัติทั่วไป : เป็นผลึกไม่มีสี หรือเป็นผงผลึกสีขาว ละลายได้ 1 ส่วนในน้ำ 3.3 ส่วน ปกติใช้ในการเตรียมเป็นดอกไม้เพลิง หรือวัตถุระเบิด

adverse effect : เมื่อรับประทานจะเกิดทางเดินอาหารอักเสบ (gastro-enteritis) ได้ ขนาดของยาที่เป็นอันตราย (toxic dose) จะเปลี่ยนแปลงได้มาก

โปตัสเซียมไนเตรตถูกเปลี่ยนแปลงในทางเดินอาหาร (gastro-intestinal tract) ไปเป็นไนไตรต์ (nitrite) โดยการกระทำของแบคทีเรีย ไนไตรต์เป็นสารเริ่มต้นของไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง การรับประทานโปตัสเซียมไนเตรตเข้าไปอาจทำให้เป็น methaemoglobinemia ได้

ขีดจำกัดบนของความปลอดภัย (safe upper limit)ของไนเตรตในน้ำดื่มของทารกคือ 10-20 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) นอกจากนี้ยังพบไนเตรตในน้ำดื่มและอาหาร เช่น ผักขม (spinach) แครอท และจะเปลี่ยนเป็นไนไตรต์เมื่ออาหารนั้นเสีย ในทารกอายุต่ำกว่า 4 เดือน จะมีความเป็นกรดในกระเพาะต่ำ (pH สูง) จนทำให้เกิดการเจริญของแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นไนไตรต์ซึ่งทำให้เป็นพิษถึงตายได้ ตามปกติไนเตรตและไนไตรต์ใช้เป็นสารถนอมยา แต่จะทำให้เกิดเป็นไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในคน

ผลต่อเลือด มีรายงานว่าเกิด methaemoglobinemia 3 รายจากการดูดซึมโซเดียมและ โปตัสเซียมไนเตรตผ่านทางผิวหนังที่ไหม้จากการเกิดอุบัติเหตุ

การดูดซึม (absorption and fate) ถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารและขับถ่ายออกไปได้อย่างรวดเร็วเกือบหมด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในปัสสาวะ

การใช้และการบริหารยา (uses and administration)

- เมื่อรับประทานในความเข้มข้นต่ำ ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ (diuretic)
- ใช้เป็นส่วนประกอบใน ยาแก้โรคหอบหืด (asthma powder)
- ใช้เป็นสารกันบูดในอาหาร
- ใช้ในการรักษาอาการเสียวฟัน

(Martindale, 1989)

ยาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate Dentifrice)

Hodosh (1974) ได้ทำการทดสอบประสิทธิผลของโปตัสเซียมไนเตรตใน 2 รูปแบบคือ สารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ได้แก่ 15%, 10%, 5%, 2%, 1% และในรูปของยาสีฟันที่ผสมโปตัสเซียมไนเตรต 10% พบว่ามีประสิทธิผลดี และไม่เกิดอันตรายต่อฟันและเนื้อเยื่อ Green , Green และ Mcfall (1977) เปรียบเทียบกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวควบคุม และใช้สารแต่ละอย่างทาบนตัวฟันส่วนที่มีอาการเสียว พบว่าโปตัสเซียมไนเตรตไม่สามารถลดอาการเสียวฟันเมื่อทดสอบด้วยความเย็นอย่างมีนัยสำคัญ แต่แคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลด

อาการดังกล่าวได้ Tarbet และคณะ (1979) ได้ปรับปรุงวิธีการทดสอบประสิทธิผลของยาสีฟันโดยใช้การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า แม้ว่าจะไม่เหมือนธรรมชาติเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น แต่เขาก็ได้ทดสอบว่ามีความสัมพันธ์กับการใช้ลมเย็นเป่า (cold air blast) และการตอบสนองของอาสาสมัครอย่างมีนัยสำคัญ (Kanapkaและ Colucci, 1986) ด้วยวิธีการนี้ Tarbet และคณะ (1980) จึงได้ทำการทดสอบยาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต 5% ที่มีปริมาณสารขัดสีน้อย ในเวลา 1 เดือนเทียบกับยาหลอก ในผู้ป่วย 27 คนที่เสียวฟันจากเหงือกร่น เมื่อเริ่มศึกษาฟันที่มีอาการตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ 8.5 โวลต์โดยเฉลี่ย หลังจาก 4 สัปดาห์ พบว่าตอบสนองที่ 17.5 โวลต์ ในขณะที่กลุ่มควบคุมตอบสนองที่ 11.5 โวลต์ ทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการใช้ยาสีฟันดังกล่าว 2 สัปดาห์ ส่วนฟันที่ไม่มีอาการก็ไม่ได้รับผลเสียจากการใช้ยาสีฟันนี้ทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยตอบสนองที่ 23-25 โวลต์ ทั้งเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง ในการทดลองต่อมา Tarbet และคณะ (1982) เปรียบเทียบยาสีฟัน 4 ชนิดในเวลา 1 เดือน พบว่ายาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต 5% ให้ผลดีที่สุดคือ ทำให้หายจากการเสียวฟันอย่างสมบูรณ์ 60% ของอาสาสมัคร รองลงมาคือยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์ 10% หายได้ 25% ยาสีฟัน 2% ไดเบสิค-โซเดียมซิเตรตหายได้ 15% และยาสีฟันฟอร์มัลดีไฮด์ 1.4% หายได้ 10% โดยในการทดลองนี้ไม่ใช้ยาหลอก ส่วน Silverman (1985) พบว่า ยาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต 5% และยาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต 5% ร่วมกับ0.76%โซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต (sodium monofluoro-phosphate) ให้ผลดีกว่ายาหลอกในการลดอาการเสียวฟันในเวลา 12 สัปดาห์ และไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก อาการเสียวฟันเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 2 เขาสรุปว่ายาสีฟัน 2 ชนิดมีคุณสมบัติเท่าเทียมกัน Personและคณะ(1989) ทดสอบโดยใช้ thermal probe พบว่า เมื่อเริ่มการทดลอง อาสาสมัครตอบรับการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 47.5° C และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 8 สัปดาห์ตอบรับที่ 57.5° C หรือ มีการตอบรับต่อการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น 10° C ในอาสาสมัคร 20 คน ส่วนกลุ่มที่ใช้ยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์ 20 คนตอบรับต่อการกระตุ้นเพิ่มขึ้น 6.6° C แต่ไม่ได้เปรียบเทียบผลทางสถิติระหว่าง 2 กลุ่ม

สำหรับยาสีฟันนี้ก็เช่นเดียวกับยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์คือ มีผู้รายงานผลในด้านลบ (negative result) โดย Manochehr-Pour, Bhat และ Bissada (1984) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้ยาสีฟัน 5%โปตัสเซียมไนเตรตและยาหลอกในการทดสอบการลดอาการเสียวฟันโดยใช้การกระตุ้นด้วยลมเย็น เครื่องมือตรวจเอ็กซพลอเรอร์ หรือ ความรู้สึกของอาสาสมัครต่อสิ่งกระตุ้นในชีวิตประจำวัน Silverman (1986) พบว่า ยาสีฟันโปตัสเซียมไนเตรต 5% และยาสีฟันสตรอนเชียมคลอไรด์ 10% ให้ผลในการลดอาการเสียวฟันไม่แตกต่างกันในเวลา

22 สัปดาห์ Reinhart และคณะ (1990) ทดสอบโปตัสเซียมไนเตรต10% ในกลีเซอรินเจลเทียบกับกลีเซอรินเจลธรรมดาและกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้ใช้สารใดๆ โดยนำเจลดังกล่าวใส่ในถาดพลาสติก (acrylic tray) ที่ทำขึ้นเอง ให้สัมผัสฟันเป็นเวลา 5 นาทีทุก 24 ชม. ทดสอบโดยใช้น้ำเย็นเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าโปตัสเซียมไนเตรตในกลีเซอรินเจลลดอาการเสียวฟันได้ดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 2 แต่กลีเซอรินเจลธรรมดาสามารถลดอาการดังกล่าวได้ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 เขาสรุปว่าการที่โปตัสเซียมไนเตรตในกลีเซอรินเจลมีประสิทธิผลด้อยกว่า อาจเป็นเพราะโปตัสเซียมไนเตรตต้องใช้เวลาเดินทางผ่านความหนาของเนื้อฟัน จนสัปดาห์ที่ 2 จึงเริ่มเห็นผล การที่ไม่เห็นผลในสัปดาห์หลังๆ เนื่องจากมันไม่ถูกถูบนผิวฟันโดยการแปรงฟัน

Greenhill และ Pashley (1981) ทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าโปตัสเซียมไนเตรตไม่สามารถลดการไหลของของเหลวในท่อเนื้อฟันเมื่อเทียบกับน้ำ ซึ่งแสดงว่าสารนี้ไม่ได้ไปอุดท่อเนื้อฟัน Markowitz และ Kim (1990) พบว่า โปตัสเซียมอิออน (K^+) มีประสิทธิผลในการลดการนำความรู้สึกของประสาทฟัน (sensory nerve activity) ในการทดลองในสัตว์ทดลอง Kim(1986) ตั้งสมมุติฐานว่า การลดการนำความรู้สึกทำได้โดยเพิ่มความเข้มข้นของโปตัสเซียม-อิออนที่อยู่นอกเซลล์ เขาสันนิษฐานว่าโปตัสเซียมอิออนจะไปดีโพลาไรส์(depolarize)ผนังเส้นใยประสาท หลังจากการดีโพลาไรเซชันในครั้งแรกแล้วเส้นใยประสาทจะไม่สามารถรีโพลาไรส์ (repolarize) เนื่องจากยังมีโปตัสเซียมอิออนนอกเซลล์อยู่ในระดับสูง ในระหว่างที่อยู่ในสภาพเช่นนี้จะไม่มีแอคชันโพเทนเชียล (action potential) เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นได้น้อยมาก เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า แอกโซนอลแอคคอมโมเดชัน (axonal accommodation) Markowitz และ Kim (1990) สรุปว่า สตรอนเชียมคลอไรด์และโปตัสเซียมไนเตรตช่วยลดการนำความรู้สึกของเส้นประสาทรับความรู้สึกในฟัน โดยสตรอนเชียมคลอไรด์จะมีประสิทธิผลเมื่อใช้ในความเข้มข้นสูงๆ เท่านั้น ส่วนโปตัสเซียมไนเตรตนั้น ไนเตรตแอนอิออน (NO_3^-)ไม่ได้มีส่วนช่วยลดอาการเสียวฟัน แต่ประสิทธิผลดังกล่าวมาจากโปตัสเซียมอิออนเท่านั้น และโปตัสเซียมอิออนมีประสิทธิ-ผลในการลดการนำความรู้สึกของเส้นประสาทมากกว่าไดวาเลนท์แคทอิออน เช่น สตรอนเชียม-อิออน (Sr^{++}) ผลที่เกิดจากสารละลายที่มีโปตัสเซียมอิออนและไดวาเลนท์แคทอิออนดังกล่าวสามารถกลับคืนได้ (reversible) และไม่ทำให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะในการรับความรู้สึกของฟันแต่อย่างใด ในการทดลองในมนุษย์ การรับความรู้สึกของเส้นประสาทรับความรู้สึกมีความสัมพันธ์กับความรู้สึกปวดหรือเสียว ดังนั้น การแปรงฟันด้วยยาสีฟันที่มีโปตัสเซียมไนเตรตจะไม่ทำให้รู้สึกเสียว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติสารที่ช่วยลดอาการเสียวฟันทุกชนิดจะต้องใช้เวลาและการ

ทำซ้ำๆจึงจะได้ผลดี เพราะในฟันที่เสียวนั้นจะยังคงมีชั้นเนื้อฟันที่สมบูรณ์ สารที่ช่วยลดอาการเสียวฟันจึงอาจจะเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของของเหลวในท่อเนื้อฟันได้เพียงเล็กน้อยในการใช้เพียงครั้งเดียว

วิธีการวัดความเสียวฟัน (Method of measuring tooth sensitivity)

การประเมินอาการเสียวฟันใช้การตอบสนองของอาสาสมัครเป็นส่วนประกอบ โดยใช้ Verbal Rating Scale, Visual Analogue Scale และแบบสอบถาม สิ่งกระตุ้นที่ใช้ในการทดสอบอาการเสียวฟันมี 4 ชนิด คือสิ่งกระตุ้นที่แป็นแรงสัมผัส (mechanical) สารเคมี ไฟฟ้า และอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามธรรมชาติในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นและความแตกต่างในการแสดงออกของอาสาสมัครแต่ละคนทำให้การประเมินผลมีความยุ่งยาก ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการทดสอบและประเมินผลอาการเสียวฟันที่เหมาะสมที่สุด

ความสามารถในการทำซ้ำใหม่ของการกระตุ้นด้วยวิธีการต่าง ๆ

ปัญหาใหญ่ของการทดสอบและวัดผล ตลอดจนประเมินผลอาการเสียวฟันมาจากความแตกต่างของสิ่งกระตุ้น และการตอบสนองของอาสาสมัครต่อสิ่งกระตุ้นนั้น ๆ Council on Dental Therapeutics of ADA(1986) จึงกำหนดการออกแบบการทดสอบให้มีลักษณะดังต่อไปนี้เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น

1. การทดสอบควรวัดปริมาณข้อมูลได้ และสามารถทำซ้ำได้
2. การประเมินผลที่สำคัญ (critical evaluation) ควรต้องประกอบด้วยการตอบสนองแบบที่เป็นนามธรรม (subjective) ระดับของการตอบสนองควรกำหนดขึ้นมาให้สามารถวัดได้และกำหนดเป็นช่วง ให้มีความสัมพันธ์กับอาการทางคลินิก
3. การวิจัยที่มีการควบคุมอย่างเหมาะสมจะต้องกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งกระตุ้นที่ใช้และบริเวณที่มีอาการเสียวฟัน
4. ไม่ควรกำหนดรูปแบบของสิ่งกระตุ้นที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง แต่ถ้าใช้สิ่งกระตุ้นมากกว่า 1 ชนิด ควรสามารถทำซ้ำได้ และต้องมีการรบกวนกันให้น้อยที่สุด
5. ใช้สถิติที่เหมาะสม การตัดสินควรทำตามรูปแบบของการทดลองชนิดนั้น ๆ

นอกจากลักษณะที่กล่าวมาแล้ว คณะกรรมการฯ ได้แนะนำให้ใช้สิ่งกระตุ้นที่เปลี่ยนระดับการกระตุ้นได้ (variable stimulus level) กับการตอบสนองที่มีระดับคงที่ (fixed threshold response) ซึ่งต่างจากการทดลองในยุคแรกที่ใช้สิ่งกระตุ้นที่มีระดับคงที่ (fixed stimulus level) กับการตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงได้ (variable response)ในการประเมินอาการเสียวฟัน (Kanapka, 1990)

การประเมินความรู้สึกของอาสาสมัคร (Subject assessment)

ความเจ็บปวดเป็นประสบการณ์ทางจิตใจที่มีหลายมิติ (Melzach, 1975 ; McGrath, 1986) ประสบการณ์ของความเจ็บปวดมีหลากหลายทำให้ไม่สามารถให้คำนิยามที่เหมาะสมได้ Melzach และ Wall (1988 อ้างถึงใน Gillam และ Newman, 1993) อธิบายความหมายของความเจ็บปวด (pain) ว่าเป็นชุดของประสบการณ์ ซึ่งมีสาเหตุและลักษณะที่แตกต่างกัน การรับรู้ความเจ็บปวดมีพื้นฐานมาจากตัวแปรซึ่งได้แก่ บุคคลิกภาพ สภาวะทางจิตใจ ทัศนคติที่มีพื้นฐานมาจากวัฒนธรรม และความกังวลของแต่ละคน

การวิจัยทางคลินิกเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิผลของสารที่ใช้ลดอาการเสียวฟันอาจมีปัญหาที่มาจากการขาดวิธีการที่เชื่อถือได้ (reliable) ไม่สามารถทำนายผลได้ และไม่สามารถทำซ้ำได้ ส่วนการตอบสนองของอาสาสมัครอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยปัจจัยทางสังคม วัฒนธรรม จิตใจ และสถานการณ์ (Ash, 1986 ; McGrath, 1986)

Clark และ Troullos(1990) กล่าวว่า การประเมินผลการตอบสนองของอาสาสมัครในการทดลองที่เกี่ยวกับอาการเสียวฟันนั้น ยังไม่ปรากฏว่ามีการใช้คำบรรยายเป็นคำพูดของอาสาสมัครเอง (verbal descriptor) การประเมินอาการเสียวฟันที่ทำกันในการทดลองทางคลินิกนั้น อาสาสมัครมักให้คะแนนความเสียวฟันต่ออาหาร หรือเครื่องดื่มร้อนเย็น อาหารหวานหรือเปรี้ยว และการแปรงฟันซึ่งพบในชีวิตประจำวัน และรายงานออกมาโดยใช้Verbal Rating Scale (VRS) Visual Analogue Scale (VAS) ส่วน McGill Word Group Descriptor และ McGill Pain Questionaire (MPQ) นำมาใช้บ้างเหมือนกันในบางวัตถุประสงค์ การประเมินผลการตอบสนองของอาสาสมัครต่อสิ่งกระตุ้นทางการสัมผัส อุณหภูมิ และไฟฟ้าก็อาจบันทึกในลักษณะนี้ได้เช่นกัน

1. Verbal Rating Scale (VRS)

Keele (1948 อ้างถึงใน Gillam และ Newman, 1993) บรรยายลักษณะความเจ็บปวดเป็น 4 ระดับ คือ เล็กน้อย ปานกลาง รุนแรง และปวดทรมาน (agonising) และดัดแปลงมาตรวัดความเจ็บปวด (pain scale) เป็น VRS ที่มีลักษณะเฉพาะ (typical VRS) ดังนี้

0 = ไม่เจ็บปวด (no discomfort)
1 = ไม่สบายเล็กน้อย (mild discomfort)
2 = มีอาการไม่สบายเห็นได้ชัด (marked discomfort)
3 = มีอาการไม่สบายกินเวลาเกินกว่า 10 วินาที

VRS มีตัวเลือกจำกัด ซึ่งอาจไม่เป็นตัวแทนความเจ็บปวดที่ชัดเจนสำหรับคนไข้ทุกคน (Clark & Troullos, 1990) การตีความในทางคณิตศาสตร์ในระบบของการให้คะแนนนั้น มักนำคะแนนมาวิเคราะห์เป็นปริมาณความเจ็บปวดซึ่งอันที่จริงเป็นเพียงความแตกต่างของความเจ็บปวดลักษณะง่าย ๆ เท่านั้น (McGrath, 1986)

2. Visual Analogue Scale (VAS)

เป็นเส้นตรงที่มีความยาว 10 ซม. ส่วนปลายของเส้นใช้แทนความเจ็บปวดที่ผู้ป่วยได้รับจากสิ่งกระตุ้นภายนอก ปลายด้านหนึ่งหมายถึงไม่เจ็บปวด และปลายอีกด้านหนึ่งหมายถึงเจ็บปวดมาก ผู้ป่วยจะทำเครื่องหมายบนเส้นดังกล่าว อันแสดงถึงความรุนแรงของระดับการเสียวฟัน หรือความไม่สบายที่เป็นอยู่ในปัจจุบันหลังจากการทดสอบ ความรุนแรงของความเจ็บปวดบน VAS สามารถแสดงออกมาเป็นค่าคะแนนสมบูรณ์ (absolute score value) หรือเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุด (percent of maximum) ความถูกต้อง (validity) และความเชื่อถือได้ (reliability) ของ VAS ในการวัดความเจ็บปวดทั้งจากการทดลองและทางคลินิกได้ผ่านการทดสอบมาแล้วโดยนักวิจัยหลาย ๆ คน Clark และ Troullos (1990) รายงานว่าในการศึกษาเกี่ยวกับยาสีฟันแก้อาการเสียวฟันนั้นการใช้กระบวนการ VAS จะเป็นการง่ายและเหมาะสม ผู้วิจัยหลายรายได้ทำการเปรียบเทียบ VAS กับมาตรวัดความเจ็บปวดอื่นๆ พบว่า VAS มีความสัมพันธ์กับวิธีทดลองและจะมีความไว (sensitive) มากขึ้นในการใช้แยกความแตกต่างระหว่างการรักษาและการเปลี่ยนแปลง

ระดับความเจ็บปวด (Ohnhaus & Adler, 1975) Downie และคณะ (1978 อ้างถึงใน Gillam และ Newman, 1993) พบว่าการให้คะแนนเป็นตัวเลข (0 - 10) จะใช้ได้ดีกว่าการให้คำบรรยายเป็น4 ระดับ (4 - point descriptive scales) และมาตรวัดที่ต่อเนื่อง (VAS) Scott และ Huskisson (1976) กล่าวว่า Graphic Rating Scale หรือ VAS ที่มีคำบรรยายเป็นช่วง ๆ บนเส้นตรงยาว 10 ซม.อาจใช้ได้ดีในผู้ที่ไม่เคยใช้ VAS มาก่อนในการตัดสินใจให้คะแนน ซึ่งจะทำให้อาสาสมัครแต่ละคนให้คะแนนความรุนแรงของความเจ็บปวดที่เท่า ๆ กัน ไว้ในตำแหน่งเดียวกัน

ข้อเสียของ VAS คือ ใช้ประเมินความเจ็บปวดในมิติเดียวโดยที่ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างความเจ็บปวดที่เป็นความรู้สึก(sensory) ความรุนแรง(intensity) และความไม่พึงพอใจ (unpleasantness) ได้ (Gillam และ Newman, 1993)

3. McGill Pain Questionaires (MPQ)

ใช้ในการประเมินความเจ็บปวดชนิดต่างๆที่เกิดจากฟันรวมถึงอาการเสียวฟัน มีข้อจำกัดคือ ความซับซ้อนของคำศัพท์ที่ใช้ วิธีการทำโดยแสดงคำศัพท์จำนวน 20 ชุด (set) ให้อาสาสมัครดู อาสาสมัครจะต้องเลือกคำๆหนึ่งจากแต่ละชุดที่สามารถบรรยายอาการเจ็บปวดได้ดีที่สุด แต่ละชุดประกอบด้วยจำนวนคำมากที่สุด 6 คำซึ่งเรียงลำดับความรุนแรงของอาการเจ็บนั้น คำศัพท์10ชุดบรรยายลักษณะความเจ็บปวด 5 ชุดเป็นคำบรรยายเกี่ยวกับความพอใจ 1ชุดใช้ประเมินความเจ็บ 4 ชุดที่เหลือเป็นคำที่เกี่ยวกับความรู้สึกหรืออื่นๆ จำนวนคำที่เลือกมานั้นนำมาทำเป็นดัชนี เนื่องจากคำในแต่ละกลุ่มสามารถจัดทำเป็นลำดับได้ จึงนำมาทำเป็นดัชนีให้คะแนนความปวด (pain rating index - PRI) อนึ่งข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของยาที่ใช้ระงับความปวด ตำแหน่งของการปวดและการเปรียบเทียบความเจ็บปวดที่กำลังเป็นอยู่กับที่เคยเป็นก็สามารถหาได้โดยใช้ MPQ ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของ MPQ คือให้ข้อมูลทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ ส่วนข้อเสียของ MPQ คือใช้เวลามากเมื่อเทียบกับVASและมาตรวัดแบบง่ายอื่นๆ จนทำให้ไม่สามารถใช้ได้ในการทดลองเรื่องอาการเสียวฟัน และอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับคำศัพท์และลักษณะของความเจ็บปวดเองด้วย นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างเกี่ยวกับวัฒนธรรมทางภาษา(Gillam และ Newman, 1993) Hansson, Bye และ Smith (1988) รายงานว่า VASและมาตรวัดความเจ็บปวดอื่นๆมีความสัมพันธ์กันน้อยเมื่อใช้ประเมินอาการเสียวฟัน

4. Verbal Descriptor Checklist (VDC)

Graceley, McGrath และ Dubner (1978) กล่าวว่า VDC ใช้ประเมินความเจ็บปวดในด้านปริมาณทั้งในด้านที่เป็นความรู้สึก และความพอใจ โดยใช้ความต่อเนื่องของสภาพความเจ็บปวดแบบต่างๆแทนการใช้คำซึ่งแยกความแตกต่างของสภาพและกลุ่มอาการ

ข้อเสียส่วนใหญ่ของมาตรวัดที่เป็นลำดับ (rating scale) คือ พิจารณาว่าความเจ็บปวดเป็นมิติเดียวที่มีเพียงความแตกต่างกันในด้านความรุนแรง ทำให้มิติทางด้านจิตใจซึ่งมีช่วงกว้างถูกจำกัดให้เป็นความต่อเนื่องในช่วงสั้นๆ Huft และ Parker(1984 อ้างถึงใน Gillam และ Newman,1993) แนะนำว่าการใช้ค่าของมาตรวัดที่เป็นชุดและมีระยะห่างไม่เท่ากันเมื่อบรรยายด้วยคำที่แสดงอาการเจ็บปวดควรเว้นช่วงให้ไม่สม่ำเสมอกัน เพื่อแสดงความแตกต่างของความหมายของคำต่างๆ Price และคณะ (1983)ดัดแปลง VAS เพื่อใช้แยกในการประเมินความเจ็บปวดในด้านความรุนแรงและความพอใจ Duncan, Bushnell และ Lavigne(1989) เปรียบเทียบ VDC และ VAS ที่มีหลายมิติ สรุปว่าทั้ง 2 ชนิดใช้บอกปริมาณความรุนแรงของความเจ็บปวดในด้านความรู้สึกและอารมณ์ได้ดี แต่ VDC จะมีความไวกว่าในการแยกความแตกต่างของ 2 ส่วนนี้

5. Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD)

Zakrzewka และ Feinmann (1990, อ้างถึงใน Gillam & Newman, 1993) ใช้ HAD ซึ่งคิดขึ้นโดย Zigmond และ Smith (1983 อ้างถึงใน Gillam และ Newman,1993)ในการศึกษาทางคลินิกเป็นเวลา 4 ปี ทำในผู้ที่มีความเจ็บปวดที่ไม่มีรูปแบบเฉพาะบริเวณใบหน้า (atypical facial pain) และ ไตรเจมินัลนิวราลเจีย (Trigeminal neuralgia) เขาสรุปว่า HAD ใช้ได้ดีในการประเมินผลของความเจ็บปวดที่มีต่อความผาสุกของผู้ป่วย ไม่ปรากฏว่ามีผู้เคยใช้ HADในการศึกษาเกี่ยวกับอาการเสียวฟัน

การศึกษาเกี่ยวกับอาการเสียวฟันนั้น มีน้อยรายที่ประเมินความรุนแรงและผลทางจิตใจของอาการดังกล่าวร่วมกับกิจกรรมการรักษาอนามัยช่องปากของผู้ป่วย หรือความสัมพันธ์กับสิ่งกระตุ้นที่เหมาะสมร่วมกับการรักษา (Clark และTroullos, 1990) ความกลัวอาการไม่สบายจากการใช้สิ่งกระตุ้นบางรูปแบบที่ไม่พบในชีวิตปกติอาจรบกวนต่อความเชื่อถือได้ของการประเมิน

การตอบสนองทางนามธรรมของอาสาสมัคร อย่างไรก็ตามมีผู้กล่าวว่า ความเชื่อถือได้ของการตอบสนองทางนามธรรมอย่างเดียวมีผลเล็กน้อยต่อการประเมินอาการเสียวฟัน (Green, Green และ McFall, 1977) นอกจากนี้ปัญหาอาจมาจากการที่ผู้วิจัยไม่สามารถสังเกตการตอบสนองของอาสาสมัครต่อสิ่งกระตุ้น (Dayton, Demarco และ Swedlow,1974) การวัดระดับความเจ็บปวดเพียงอย่างเดียวไม่พอ เพราะมีความหลากหลาย และมักจะวัดออกมาในรูปของสิ่งกระตุ้นมากกว่าการรับรู้ความเจ็บปวด (McGrath,1986) ความแตกต่างของระดับความเจ็บปวดในอาสาสมัครแต่ละคนมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เพศ ภูมิหลังทางวัฒนธรรม ความสนใจและคำแนะนำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปได้โดยสภาวะทางจิตใจ(Gracely, McGrath และ Dubner,1978) ผู้วิจัยส่วนมากที่ทำการประเมินประสิทธิผลของสารที่ใช้ลดอาการเสียวฟันต้องการวัดการตอบสนองของอาสาสมัครเป็นปริมาณด้วยหลักเกณฑ์ซึ่งกล่าวว่าเป็นรูปธรรมโดยพิจารณาจากวิธีการที่ใช้ ซึ่งโดยความเป็นจริงเป็นนามธรรมเมื่อพิจารณาถึงการตอบสนองของอาสาสมัคร การประเมินผลการรักษาจากอาการเสียวฟันจะทำได้ยาก ถ้าไม่พิจารณาถึงวิธีการที่ใช้ (Gillam และ Newman, 1993)

วิธีการประเมินผลอาการเสียวฟัน (Method of assessment of dentinal sensitivity)

1. สิ่งกระตุ้นทางกลหรือสิ่งกระตุ้นทางการสัมผัส (mechanical/ tactile stimuli) มีวิธีการหลายอย่างที่เป็นการกระตุ้นทางกล เช่น

1.1 การเขี่ยผิวฟันด้วยโพรบแหลม ๆ

1.2 scaling procedure

1.3 mechanical pressure stimulator

1.4 Yeaple probe

1.1 การใช้เครื่องมือตรวจเอ็กซพลอเรอร์เขี่ยผิวฟัน มีความแตกต่างของแรงที่ใช้ สิ่งที่ต้องการคือแรงสม่ำเสมอบนฟันทุกซี่ทุกช่วงเวลาขณะทำการทดสอบ

1.2 การใช้วิธีการ scaling ก็ได้รับการกล่าวเช่นเดียวกันว่ามีความไม่สม่ำเสมอขึ้นกับผู้ใช้และตัวเครื่องมือเอง เช่น แรงที่ใช้ ความคมของเครื่องมือ และความลึกของการขูดขีด

Ong และ Strahan (1989) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าการเขี่ยเนื้อฟันด้วยเครื่องมือตรวจเอ็กซพลอเรอร์นั้นไม่ใช่สิ่งกระตุ้นตามธรรมชาติสำหรับการประเมินผลอาการเสียวฟัน

1.3 Smith และ Ash (1964) ได้ประดิษฐ์สิ่งกระตุ้นทางกล (mechanical stimulator) เพื่อให้ได้การตอบสนองของอาสาสมัครเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ต่อมาเครื่องมือนี้ได้รับการดัดแปลง โดยเพิ่มลวดไร้สนิมขนาด 15 มม. ส่วนปลายทำเป็นปลายแหลมและเคลื่อนไปได้ทางด้านใกล้แก้มของฟันทดสอบที่มีอาการเสียวฟัน เครื่องมือนี้สามารถเพิ่มแรงครูด (scratching force) โดยใช้สกรูเล็กๆทำให้ส่วนปลายของเครื่องมือเคลื่อนเข้าไปใกล้หรือออกห่างจากผิวรากฟันจนกว่าจะมีการตอบสนองของอาสาสมัคร มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เครื่องมือนี้ได้รับการวิจารณ์ว่าไม่สามารถวัดปริมาณของการกระตุ้นได้เป็นหน่วยของแรง และข้อจำกัดของเครื่องมือนี้อยู่ที่ขนาดที่ทำให้เข้าถึงได้เฉพาะด้านริมฝีปากของฟันหน้าเท่านั้น (Gillam และ Newman, 1993) มีผู้วิจัย 2 คณะเท่านั้นคือ Smith และ Ash (1964) และ Green ,Green และ McFall (1977) ที่พยายามประเมินอาการเสียวฟันในตำแหน่งที่แน่นอนบนฟันทดสอบ

Orchardson และ Collins (1987) ได้พัฒนาสิ่งกระตุ้นทางกลของ Smith และ Ash (1964)ให้มีปลายแหลมรูปเคียวติดอยู่ใน chuck ทำมุมฉากกับ strain gauges โดยถือโพรบให้ส่วนปลายตั้งฉากกับผิวฟันและครูดฟันเบาๆ แรงที่ครูดฟันจะเพิ่มมากขึ้นจนกว่าจะถึงระดับที่มีอาการเสียวฟัน เครื่องมือนี้ยึดกับเครื่องบันทึกซึ่งบันทึกหน่วยของแรงเป็นกรัม ผู้วิจัยอ้างว่าเครื่องมือนี้เข้าถึงฟันทุกซี่ในปาก ยกเว้นด้านไกลกลางของฟันกรามซี่ที่ 2 และ 3 รวมทั้งด้านลิ้นของฟันกรามล่าง Clark และ Troullos (1990) กล่าวว่าเครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณการเสียวฟันได้และให้ข้อมูลที่สามารถทำซ้ำได้

1.4 Yeaple probe เป็นเครื่องมืออิเลคโทรนิคที่ไวต่อแรงกด (electronic pressure sensitive device) เดิมออกแบบมาให้ใช้เป็นเครื่องมือตรวจร่องลึกปริทันต์ที่ควบคุมแรงกดได้ ประดิษฐ์โดย Polson และคณะ (1980) เครื่องมือนี้ได้รับการดัดแปลงให้เข้ากับเครื่องมือตรวจเอ็กซพลอเรอร์ ส่วนด้ามมีขนาดประมาณขนาดของปากกาหมึกซึม และเชื่อมกับ flexible electronic lead ไปถึงหน้าปัดควบคุม เมื่อวางส่วนปลายของโพรบให้ตั้งฉากกับผิวฟันด้านใกล้ริมฝีปาก และกดโดยใช้แรงให้เท่ากับขนาดของแรงที่ตั้งไว้ แรงนี้สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยการหมุนปุ่มที่ควบคุมตำแหน่งของแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อกดเครื่องมือถึงขนาดของแรงที่ตั้งไว้ จะปรากฏไฟแดงขึ้นบนหน้าปัดและสัญญาณจะดังขึ้น ผู้ใช้

สามารถปรับแรงเพิ่มได้เป็นกรัม โดยปกติจะปรับขึ้นทีละ 5 กรัม จนกว่าอาสาสมัครจะเริ่มเสียวฟัน ถ้าปรับถึงขนาดของแรงมากที่สุดหรือเท่ากับ 70 กรัมแล้วอาสาสมัครไม่มีอาการเสียวฟัน ก็จะให้คะแนนฟันซี่นั้นเป็นฟันที่ไม่มีอาการ แต่ McFall และ Hamrick (1987) ใช้แรงกด 25, 50 และ 75 กรัม แทนการเพิ่มแรงขึ้นทีละ 5 กรัม ฟันที่ไม่ตอบสนองที่แรง 75 กรัมถือว่าไม่เสียว และให้คะแนนเป็น 0 ส่วน Clark, Al-Joburi และ Chan (1987) วัดปริมาณการเสียวฟันโดยกำหนดช่วงของแรงกดน้อยกว่า 20 กรัม 20-39 กรัม 40-59 กรัม และ 60-75 กรัมที่ทำให้เสียวฟัน ผู้วิจัยเหล่านี้ประสบปัญหาในการรักษาระดับของแรงกดให้คงที่บนส่วนโค้งของคอฟัน

ข้อดีของ Yeaple probe คือ

- อาการเสียวต่อแรงกด (tactile sensitivity) สามารถบอกปริมาณได้และทำซ้ำได้
- โพรบนี้สามารถเข้าถึงฟันทุกซี่และทุกด้าน

ส่วนปัญหาของ Yeaple probe คือ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะไม่มีการตอบสนองต่อแรงที่มากกว่า 70 หรือ 75 กรัม

Kleinberg ,Kaufman และ Confessore (1990) รายงานถึงเครื่องมือกดที่มีปุ่มกด (hand - held scratch device) ซึ่งประกอบด้วย torsion gauge และโพรบที่แหลมคล้ายเครื่องมือตรวจเอ็กซพลอเรอร์ เครื่องมือนี้จะเคลื่อนไปตามฟันที่เสียวได้อย่างง่ายดาย มีตัวบอกที่แสดงโดยแขนของปลายเอ็กซพลอเรอร์ และบันทึกแรงที่เคลื่อนไปเป็นเซ็นตินิวตัน(Centi-Newton) การครูดจะเพิ่มแรงได้เรื่อยๆจนกว่าผู้ถูกทดลองจะรู้สึกเสียวฟัน ถ้าฟันซี่ไหนไม่ตอบสนองที่แรง 80 เซ็นติ-นิวตันถือว่าไม่เสียว

Pashley (1990) กล่าวว่า การใช้โพรบแหลมอาจจะครูดผิวเนื้อฟันได้ แม้ว่าแรงกดจะมีขนาดเพียง 5-10 กรัมแต่ยังมากกว่าแรงยืดหยุ่นของเนื้อฟัน ซึ่งไม่เพียงแต่กดและสร้างชั้นสเมียร์ใต้ปลายของเอ็กซพลอเรอร์เท่านั้น แต่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรในระดับที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า การผิดรูปร่างของเนื้อฟันอาจทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟัน มีทิศทางเข้าสู่ภายในด้วยความเร็วระดับหนึ่ง และจะกระตุ้นหน่วยรับความรู้สึก (mechanoreceptor) ซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดกระแสประสาท การขูดขีดเนื้อฟันอาจจะไปกำจัดตัวยาซึ่งฝังอยู่ในระหว่างการทดลอง แต่ก็จะไม่มีอิทธิพลกับระดับความเสียวฟันมากนัก ปัญหาอีก

อย่างหนึ่งในการประเมินการเสียวฟันโดยการครูดคือ ผู้วิจัยอาจจะพลาดตำแหน่งที่แน่นอนที่มีอาการเสียวฟัน ทำให้คิดว่าไม่มีอาการเสียวฟันอีก

2. สิ่งกระตุ้นที่เป็นสารเคมี (chemical stimulus)

สารละลายความเข้มข้นสูง (hypertonic solution) เช่น โซเดียมคลอไรด์ กลูโคส และแคลเซียมคลอไรด์ มีผู้นำมาใช้ในการกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟัน สารละลายความเข้มข้นสูงมักเป็นกรดที่มีpHต่ำ ทำให้เกิดการละลายเกลือแร่ของท่อเนื้อฟัน ซึ่งทำให้เกิดอาการเสียวฟันได้ Horiuchi และ Matthews (1973) พบว่า สารละลายความเข้มข้นสูงของโซเดียมคลอไรด์ กลูโคส และ ซูโครสกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟันได้ในสัตว์ทดลอง และทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวผ่านชั้นเนื้อฟันในห้องทดลองด้วย พวกเขายังรายงานว่าแรงดันไฮโดรสแตติก (hydrostatic pressure) มีประสิทธิภาพมากกว่าแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ในการทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลว Panopoulos ,Gazelius และ Olgart (1983) พบว่า แคลเซียมคลอไรด์มีผลหลายอย่าง เนื่องมาจากมันละลายน้ำได้มาก โดยส่วนผิวๆจะไปกระตุ้นเส้นประสาทในตัวฟัน เนื่องจากการเคลื่อนด้วยแรงออสโมติก ระดับลึกที่ลึกกว่าจะไปกระตุ้นการทำงานของเส้นประสาท เนื่องจากผลโดยตรงของแคลเซียมต่อการคงอยู่ของเนื้อเยื่อ (Bilotto, Markowitz และ Kim, 1988) มีนักวิจัยหลายรายนำสารละลายอิ่มตัวของซูโครสมาใช้เป็นสารกระตุ้น (Clark, Al-Joburi และ Chan, 1987; McFall และ Hamrick, 1987, Ong และ Strahan, 1989) โดยใช้สำลีชุบสารละลายทาบริเวณที่มีการเผยผึ่งของเนื้อฟันเป็นเวลา 10 วินาที หรือจนกว่าอาสาสมัครจะเริ่มเสียวฟัน การทาเช่นนี้ทำให้เกิดผลทางออสโมติก ซึ่งทำให้มีการไหลของของเหลวในทิศทางเคลื่อนออก และทำให้มีอาการเสียวฟัน สารละลายที่มีแรงดันออสโมติกต่ำ (low osmolarity) เช่น ของเหลวในเนื้อฟัน มีแนวโน้มที่จะไหลออกไปหาสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ขณะที่สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน (iso-osmotic solution) เมื่อทาจะไม่เกิดอาการเสียวแต่อย่างใด (Pashley, 1986) Panopoulos, Gazelius และ Olgart (1983) กล่าวว่า ถึงแม้เนื้อฟันจะไม่ใช่ semi - permeable membrane แต่การเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟันก็เกิดขึ้นเกือบทันที Horiuchi และ Matthews (1973) พบว่าการเคลื่อนของของเหลวไม่สามารถพยากรณ์ได้โดยใช้หลักของแรงดันออสโมติกอย่างเดียว Johnson และ Brannstorm (1974) สรุปว่าคุณสมบัติทางออสโมติกของสารละลายมีความสำคัญน้อย เมื่อพิจารณาถึงผลของมันในการทำให้เกิดการเสียวฟัน Pashleyและ

Parsons (1987) พบว่า เมื่อทายาชาชนิดขี้ผึ้ง(Lidocaine ointment)ที่เหงือกของฟันที่มีการเผยผึ่งของเนื้อฟันจะทำให้เกิดอาการเสียวฟันขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่มีโพลีเอธิลีนไกลคอลความเข้มข้นสูงอยู่ในยาชา จึงสรุปว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง แม้จะมียาชาเฉพาะที่อยู่ด้วยก็จะทำให้เกิดการตอบสนองต่อการเสียวฟันได้ถ้าการแพร่ของโมเลกุลของยาชาช้า(เป็นนาที) เมื่อเทียบกับอัตราการเคลื่อนของของเหลวแบบออสโมติก (เป็นวินาที) ดังนั้นความรู้สึกเสียวจึงเกิดขึ้นก่อนการชา ประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้กระตุ้นอาจถูกกระทบโดยตัวแปรอื่นๆ เช่น ส่วนประกอบที่เป็นอิออน การที่มีหรือไม่มีแคลเซียม โซเดียม โปตัสเซียม ความเป็นกรด(pH) และ osmolarity (tonicity) (Pashley, 1986) Narhi และคณะ (1988) รายงานว่า การตอบสนองของเส้นประสาทต่อการกระตุ้นด้วยสารละลายความเข้มข้นสูงบนเนื้อฟันส่วนผิวๆมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วสารละลายความเข้มข้นสูงไม่สะดวกในการใช้ และควบคุมได้ยาก นอกจากนี้ยังอาจทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้ได้ (Gillam และ Newman, 1993) การปนเปื้อนอาจเกิดขึ้นได้เมื่อใช้สารละลายความเข้มข้นสูงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟันซึ่งอาจมีผลในการเพิ่มอาการเสียวฟันให้มากเกินกว่าระดับเริ่มแรก Anderson และMatthews,(1967) ; Anderson, Matthews และ Goretta (1967) และ Anderson, Matthews และ Shelton (1967) พบว่า การทาสารละลายความเข้มข้นสูงบนผิวฟันที่เตรียมไว้จะลดระดับการเสียวในโพรงฟันนั้น แต่ยังไม่มีการวิจัยใดที่สามารถกำหนดระดับการเสียวได้อย่างเป็นรูปธรรมโดยใช้สารเคมี Pashley (1990) กล่าวว่า การทดลองของ Anderson และMatthews(1967) เป็นยุคแรกๆจึงไม่ได้ให้ความสำคัญกับชั้นสเมียร์ ดังนั้นเมื่อร่วมกับการที่เนื้อฟันมีความสามารถในการเป็นตัวนำไฮดรอลิคต่ำ (low hydraulic conductance) เขาจึงใช้สิ่งกระตุ้นที่ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกสูง เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวผ่านเนื้อฟันเพื่อทำให้เกิดการเสียวฟัน Johnson และ Brannstorm (1974) พบว่า ผิวเนื้อฟันที่ปกคลุมด้วยชั้นสเมียร์จะตอบสนองต่อสารละลายเข้มข้นสูงได้น้อยลง การใช้กรด เช่น กรดซิตริค 50 % ทาเป็นเวลา 2 นาทีจะละลายชั้นดังกล่าวและความเป็นตัวนำไฮดรอลิคจะเพิ่มขึ้นมาก (Pashley และคณะ, 1981) ดังนั้น การกำจัดชั้นสเมียร์จะเพิ่มการไหลของของเหลวผ่านเนื้อฟันและจะเพิ่มอาการเสียวฟันด้วย Gillam และ Newman (1993) แนะนำว่าการใช้สารละลายเข้มข้นสูงในการกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟันไม่มีความเชื่อถือได้ ไม่สามารถทำนายผลได้ และไม่สามารถทำซ้ำได้

3. สิ่งกระตุ้นที่เป็นอุณหภูมิ (thermal stimuli)

อาการเสียวฟันต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นอุณหภูมิ โดยเฉพาะความเย็นพบได้บ่อยที่สุดในผู้ที่มีอาการเสียวฟัน (Kanapka และColucci, 1986; Addy, Mostafa และ Newcombe, 1987; Orchardson และ Collins, 1987) สิ่งกระตุ้นประเภทนี้มีหลายชนิด ได้แก่

3.1 ลมเย็น (cold air blast) ในรูปของลมเย็นจากเครื่องทำฟัน เป่าเป็นเวลา 1 วินาที การใช้ลมเย็นจะมีประโยชน์มากถ้าใช้ตรวจหาฟันที่มีอาการเสียวอย่างคร่าวๆ เพราะลมเย็นจากเครื่องทำฟันไม่สามารถหาตำแหน่งที่แน่นอนที่มีอาการเสียวฟันได้(Pashley,1990) Ong และ Strahan(1989) พยายามแก้ปัญหานี้โดยใช้แถบขี้ผึ้งเพื่อแยกฟันที่มีอาการเสียว Pashley (1990) กล่าวว่า การเป่าลมเย็นเป็นเวลานานอาจทำให้ผลที่เกิดจากอุณหภูมิเปลี่ยนไป ซึ่งหลีกเลี่ยงได้โดยใช้เวลาสั้น ๆ โดยมากมักใช้ 1 วินาที Clark และ Troullos (1990) กล่าวว่าช่วงของอุณหภูมิที่ใช้อาจทำให้ระดับการเสียวฟันเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ อย่างไรก็ตามลมเย็นนี้ไม่สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณได้จึงใช้เป็นสิ่งกระตุ้นที่คงที่ และผู้วิจัยต้องวัดการตอบสนองของอาสาสมัครที่เปลี่ยนไป (Pashley, 1990) Thrash ,Dorman และ Smith (1983) ได้พัฒนาเครื่องมือวัดระดับที่เป็นอิเลคโทรนิค ซึ่งอ้างว่าสามารถตรวจวัดอาการเสียวฟันที่เปลี่ยนแปลงได้และให้ความเป็นรูปธรรมได้มากกว่าในการวัดการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่เป็นความเย็น เครื่องมือนี้ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์(thermister)เล็กๆเชื่อมกับเครื่องบันทึกซึ่งมีตัวควบคุมโดยใช้มือกดติดอยู่ ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีอาการเสียวฟัน เพื่อการวัดที่ถูกต้องในจุดที่อาสาสมัครรายงานว่าเสียวเป็นครั้งแรก ลมที่มีอุณหภูมิห้อง (20°C) จะถูกเป่าออกมาเบา ๆ ยังบริเวณที่มีอาการเสียวฟันซึ่งมีอุณหภูมิ 32° - 34°C จนกระทั่งอาสาสมัครเริ่มมีอาการเสียวฟัน การวัดค่าของอุณหภูมิที่ลดลงจะทำ 3 ครั้งและคิดเป็นค่าเฉลี่ย บางครั้งอาจต้องรอให้ฟันที่ทดสอบกลับสู่สภาพปกติ และปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (Kleinberg ,Kaufman และ Confessore, 1990) ดังนั้นถ้าต้องการทดสอบการกระตุ้นด้วยแรงสัมผัสและอุณหภูมิในคนๆเดียวกัน การกระตุ้นโดยแรงสัมผัสจะต้องทำก่อน Ong และ Strahan (1989) กล่าวว่า อาการเสียวฟันที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการนี้ยังไม่ทราบว่าเกิดจากการกระตุ้นด้วยความเย็นอย่างเดียวหรือไม่ เพราะลมเย็นจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้

Minkoff และ Axelrod (1987) และ Silverman ,Gingold และ Clark (1988) ใช้ระบบของ Yeh (Yeh air thermal system) ซึ่งให้ลมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้และมีความดัน

10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป่าลงไปบนเนื้อฟันผ่านปลายพลาสติกถอดได้ เริ่มแรกตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100°F แล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงจนอาสาสมัครเริ่มมีการตอบสนองหรือจนกระทั่งถึงขีดจำกัดล่าง คือ 70°F อุณหภูมิของลมจะถูกควบคุมโดยลมที่ผ่านออกมาจากคอมเพรสเซอร์ผ่านท่อทองแดงที่อยู่ในน้ำแข็งและไปยังกระบอกที่ถูกทำให้ร้อนด้วยไฟฟ้า อุณหภูมิของลมจะถูกควบคุมตลอดเวลา แต่เนื่องจากความชื้นที่อยู่ในลมเย็นไม่ได้รับการควบคุม ดังนั้นจึงอาจมีข้อเสียในเรื่องของการทำให้แห้งขณะที่ทำให้อุณหภูมิลดลง (Clark และ Troullos, 1990; Kleinberg, Kaufman และ Confessore, 1990)

Orchardson และ Collins (1987) ได้พัฒนาเครื่องกระตุ้นที่เป็นลมเป่า (air jet stimulator) ที่คล้ายกับของThrash, Dorman และ Smith(1983) ระดับความเสียวฟันถูกกำหนดโดยอุณหภูมิที่พื้นผิวฟัน ผู้วิจัยอ้างว่าสามารถที่จะเชื่อมอุณหภูมิที่พื้นผิวกับอุณหภูมิที่แฝงอยู่ภายในเครื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมจากการวัดครั้งเดียว โดยใช้เทอร์มิสเตอร์หรือ thermocouple เล็กๆ เครื่องกระตุ้นด้วยลมนี้จะให้ลมเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ($20^{0} \pm 1^{0}$ C) จากคอมเพรสเซอร์ ลมที่ออกมาจะควบคุมโดยเครื่องวัดอัตราเร็ว (flowmeter) ซึ่งให้อากาศผ่านเข้าไปในโซลีนอยด์วาล์ว (solenoid valve) และปล่อยลมให้ออกมาสู่ผิวฟัน หรือผ่านไปในอากาศ เครื่องมือนี้ทำงานโดยการที่ผู้ใช้เหยียบสวิทช์ ซึ่งจะปล่อยลมออกมาทันที และทำให้นาฬิกาเริ่มหมุนไปที่เลข30 เมื่ออาสาสมัครรู้สึกเสียวฟัน ก็จะกดสวิทช์ตัด และหยุดการหมุนของนาฬิกาโดยอัตโนมัติ อาการเสียวฟันสามารถวัดได้จากเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ระดับการเสียวฟันก็จะแสดงออกมารูปของเวลาที่ทำให้เกิดอาการเสียวฟันซึ่งจะเป็นสัดส่วนกลับกับอาการเสียวฟัน ระยะหลังมีระบบใหม่เกิดขึ้นเป็นระบบส่งลมที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยไมโครคอมเพรสเซอร์(microprocessor temperature-controlled air delivery system) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อหาระดับอุณหภูมิของความเย็นหรือความร้อนที่ทำให้เสียวฟัน (Personและคณะ, 1989) เครื่องมือนี้ประกอบด้วยแท่งมือถือให้ลมออกมา และยึดกับส่วนไมโครคอมเพรสเซอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุม ซึ่งจะควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง -5° C ถึง 85° C ($\pm 0.2^{0}$ C) ลมนี้มาจากคอมเพรสเซอร์และควบคุมโดยวาล์วให้มีความดันคงที่ที่ 60ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถปรับอุณหภูมิให้เพิ่มหรือลดได้ทีละ 1° C หรือ 5° C โดยปุ่มบนแท่งมือถือ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่สามารถวัดปริมาณได้ และทำซ้ำได้ แต่การขาดข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาฟื้นตัวระหว่างการประเมินผลแต่ละครั้ง และการเป่าฟันให้แห้งในขณะที่ลดอุณหภูมิลงทำให้ฟันเสียวด้วยความเย็นก็เป็นปัญหาดังที่กล่าวมาแล้ว Brannstorm(1960) พบว่า ถ้าเป่าลมไปที่เนื้อฟันเป็นเวลา 5 นาที ฟันจะยังคงไม่มีความเสียวต่อสิ่งกระตุ้นตราบเท่าที่

ยังแห้งอยู่ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำไปจากเนื้อฟันจะทำให้มีการเคลื่อนตัวของนิวเคลียสของเซลล์สร้างเนื้อฟันเข้าไปในท่อเนื้อฟัน แม้ว่าการลดอาการเสียวฟันจะเป็นผลมาจากการขัดขวาง (mechanical blockage) หรือการอุดท่อเนื้อฟันบางส่วนโดยเกลือและสารอินทรีย์ก็ตาม (Polhagen และ Brannstorm, 1971; Pashley และคณะ, 1984)

3.2 การทดสอบด้วยน้ำเย็น (cold water testing)

Flynn , Galloway และ Orchardson (1985) ใช้น้ำเย็น 7 °C ปริมาตร15 มล. ฉีดล้างให้ทั่วทั้งปากเป็นเวลา 2-3 วินาที และแนะนำว่าน้ำเย็น 7 °C เหมาะที่สุดสำหรับตรวจหาฟันที่เสียว และลดการตอบสนองทางบวกที่ไม่จริง แต่การเสียวฟันจากสาเหตุอื่นไม่สามารถกำจัดได้ การทดสอบด้วยน้ำเย็นในระยะต่อมาได้มีการใช้น้ำเย็นอุณหภูมิต่างๆกันฉีดไปบนตัวฟัน เทคนิคการทดสอบด้วยอุณหภูมิวิธีนี้นำมาใช้โดย Brough และคณะ (1985) และ Muzzin และ Johnson (1989) นำมาดัดแปลงโดยใช้น้ำอุณหภูมิต่างๆ ที่อยู่ระหว่าง 20 °C และ 0 °C โดยใช้กระบอกฉีดบรรจุน้ำไว้ในภาชนะที่มีฉนวนหุ้มที่อุณหภูมิ 20 °C , 15 °C , 10 °C , 5 °C และ 0 °C ผู้วิจัยเริ่มต้นฉีดน้ำอุณหภูมิ 20° ± 1° C ไปที่ฟันจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกเสียวฟันหรือเป็นเวลา 3 วินาที ถ้าไม่มีอาการเสียวฟันก็จะรอเป็นเวลา 2 นาที แล้วทดสอบใหม่ด้วยน้ำอุณหภูมิ 15 °C อุณหภูมิของน้ำจะลดลงครั้งละ 5 °C จนกว่าอาสาสมัครจะมีการตอบสนองหรือจนกว่าจะถึง 0 °C อุณหภูมิที่อาสาสมัครเริ่มเสียวหรือไม่เสียวฟันจะถูกบันทึกไว้ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามการทดสอบด้วยน้ำเย็นก็เป็นวิธีที่ไม่สามารถวัดปริมาณได้ (Green, Green และ Mcfall (1977) Gangarosa(1986) กล่าวว่า การกำหนดปริมาณของน้ำที่ฉีดไปบนฟัน รวมทั้งเวลาที่น้ำสัมผัสฟันจะทำได้ยาก Clark และ Troullos (1990) กล่าวว่าการควบคุมการไหลของน้ำและจำกัดให้อยู่เฉพาะซี่ฟัน หรือเฉพาะตำแหน่งที่มีอาการเสียวฟันนั้นก็เป็นเรื่องยากเช่นกัน นอกจากนี้ยังไม่สามารถประเมินความรุนแรงของอาการเสียวฟันที่อาสาสมัครรู้สึกครั้งแรกที่อุณหภูมิหนึ่งๆได้ Muzzin และ Johnson (1989)ใช้เวลาพัก 2 นาที ก่อนทดสอบครั้งใหม่เพื่อให้ฟันได้กลับเข้าสู่อุณหภูมิร่างกาย แต่ก็ยังเป็นปัญหาว่าการพักเป็นระยะเวลา 2 นาทีจะเพียงพอหรือไม่ หรืออาจต้องใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง ก็ได้ก่อนจะเริ่มการทดสอบฟันซี่ดังกล่าวใหม่ (Jyvasjarvi และ Kniffki, 1987)

I16747185

3.3 thermo - electric devices

thermo-electric stimulator ที่ประดิษฐ์โดย Naylor (1961) ได้รับการดัดแปลงโดย Smith และ Ash (1964) เพื่อใช้รายงานการตอบสนองของอาสาสมัครต่อความร้อนและความเย็น เครื่องมือนี้สามารถให้ความร้อนหรือความเย็นอย่างต่อเนื่องผ่านปลายโพรบที่เล็กพอที่จะสัมผัสบริเวณคอฟัน อุณหภูมิของปลายโพรบจะถูกวัดโดยเทอร์มิสเตอร์ ซึ่งฝังไว้ที่ส่วนปลายและสามารถให้ความเย็นจากอุณหภูมิห้องจนถึง 12 °C หรือให้ความร้อนถึง 82 °C อุณหภูมิเริ่มต้นของการทดสอบเริ่มที่ 37.5 °C แล้วเพิ่มหรือลดลงทีละ 1 °C ซึ่งการเพิ่มหรือลดแต่ละครั้งจะปิดสวิทช์โดยปลายของเครื่องมือยังสัมผัสที่ผิวฟัน ทำต่อเนื่องไปจนกว่า ผู้ถูกทดลองจะรู้สึกเสียวฟัน

McFall และ Morgan(1985) ใช้ FTS direct contact probe และ measuring unit-Model DCP-80 (FTS System Incorporation, Stone Ridge, N.Y.) ซึ่งเคยใช้โดย Lutins ,Greco และ Mcfall (1984) เพื่อวัดการเสียวฟันต่ออุณหภูมิต่างๆ เครื่องมือนี้สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง -80 °C ถึง 130 °C (± 0.5 °C) อุณหภูมิเริ่มต้นของการทดสอบคือ 36 °C ค่อย ๆลดลงทีละ 1 °C ระหว่างนี้นำส่วนปลายเครื่องมือออกจากตัวฟันเป็นเวลา 45 วินาที และปรับอุณหภูมิใหม่ก่อน แล้วจึงนำส่วนปลายเครื่องมือไปแตะที่ผิวฟันอีก จนกว่าอาสาสมัครจะมีการตอบสนอง

Addy ,Mostafa และ Newcombe (1987) ใช้ thermo - electric device เหมือนกับของ Naylor (1961) ทดสอบการกระตุ้นด้วยความเย็นโดยทำให้ปลายโพรบเย็นลงที่ 0 °C ฟันที่ตอบสนองแล้วนำมาทดสอบซ้ำที่ 5 °C , 10 °C , 15 °C ตามลำดับ ระหว่างช่วงอุณหภูมิให้พัก 5 นาที ก่อนทดสอบครั้งใหม่ ซึ่งพบว่า ไม่มีฟันที่ตอบสนองที่ 10 °C หรือ 15 °C เลย

Ong และ Strahan (1989) ใช้ thermal probe unit ซึ่งพัฒนาโดย E.H.Davies (Institute of Dental Surgery, London) ซึ่งประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ที่ปลายโพรบและบรรจุน้ำเย็น (water cooled frigistor) เทอร์มิสเตอร์นี้ให้อุณหภูมิในช่วง - 5 °C ถึง 55 °C (± 0.2 °C) ส่วนปลายเครื่องมือมีขนาด 1.5 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับฟันโดยไม่สัมผัสกับเนื้อเยื่อเหงือก ผู้วิจัยได้ใช้อุณหภูมิในช่วงปลาย (extremes of temperature) และบันทึกการตอบสนองจากการแตะปลายโพรบบนผิวฟันเป็นเวลา 10 วินาที หลังจากพักเป็นเวลา 2 นาที จึงทำ

การทดสอบใหม่ Ong (1983 อ้างถึงใน Gillam และ Newman, 1993) ยังแนะนำว่า การทดสอบสามารถเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 37 °C แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มหรือลดลงทีละ 1 °C จนกว่าจะมีการตอบสนอง

เครื่องมือเหล่านี้มีข้อดีที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำและให้ค่าที่ถูกต้อง แต่การตั้งอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะใช้เวลานาน (Green, Green และ Mcfall, 1977) อุณหภูมิของเครื่องมือเหล่านี้เป็นอุณหภูมิที่ส่วนปลายของเครื่องมือ ไม่ใช่อุณหภูมิที่ผิวฟันโดยตรง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงต้องทำอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ข้ามช่วงของอุณหภูมิที่ถึงระดับความเสียวฟัน (Clark และ Troullos, 1990) Person และคณะ (1989) กล่าวว่าการแตะปลายโลหะซึ่งแม้จะมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิร่างกายไปบนผิวฟันก็จะกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟัน และบดบังผลการทดสอบต่อไปได้ นอกจากนี้ความร้อนที่ถ่ายทอดระหว่างปลายโพรบโลหะและฟันจะขึ้นกับบริเวณที่สัมผัสกับฟันซึ่งอาจมีไม่เพียงพอ Clark และ Troullos (1990) กล่าวว่า เครื่องมือเหล่านี้อาจไม่ใช่ตัวแทนของสิ่งที่พบในชีวิตประจำวัน ผู้ที่มีอาการเสียวฟันมักเสียวฟันต่อลมเย็นหรือของเหลวเย็นแต่ไม่เสียวฟันต่อวัตถุเย็น

ส่วนมากแล้วเครื่องมือกระตุ้นด้วยอุณหภูมิเหล่านี้ต้องสัมผัสกับผิวฟันเพื่อกระตุ้นให้เกิดอาการเสียวฟัน สิ่งกระตุ้นนั้นจะต้องเป็นสิ่งกระตุ้นทางการสัมผัสและอุณหภูมิไปพร้อมๆ กัน ซึ่งเป็นปัญหาที่จะต้องได้รับการแก้ไข (Ash, 1986) การใช้น้ำเย็นอาจถือเป็นการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิได้มากที่สุดเพราะไม่มีแรงกดเกิดขึ้น การใช้ลมเย็นไม่ทำให้เกิดแรงสัมผัสฟันเช่นกัน แต่ก็ทำให้เกิดการเป่าแห้ง และเป็นการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิไปด้วยในขณะเดียวกัน (Gillam และ Newman, 1993)

Pashley (1990) กล่าวว่า การกระตุ้นด้วยอุณหภูมิควรจะพิจารณาว่าเป็นการกระตุ้นแบบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟัน หรือการเปลี่ยนแปลงความดันทางอ้อมมากกว่าการกระตุ้นหน่วยรับที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (temperature - sensitive receptor) โดยตรง

4. การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (electrical stimulation)

การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าได้นำมาใช้ในการวัดระดับความเจ็บปวดและความรู้สึกก่อนความเจ็บปวด (pain / prepain threshold) ในงานวิจัยหลายชิ้น การกระตุ้นวิธีนี้ต่างจากการกระตุ้นแบบอื่นๆที่ใช้วัดการเสียวฟัน โดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวในท่อเนื้อฟัน แต่จะทำให้เกิดสารอินทรีย์ที่มีความต้านทานต่ำในเคลือบรากฟัน เคลือบฟัน และเนื้อฟัน (Kleinberg , Kaufman และ Confessore, 1990) ดังนั้น การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าจึงเหมาะสมที่จะใช้ในการวัดความมีชีวิตของฟัน มากกว่าใช้วัดอาการเสียวฟัน (Clark และ Troullos, 1990)

electrical pulp tester นำมาใช้วัดความมีชีวิตของฟัน แต่มีปัญหาในเรื่องความถูกต้องของเครื่องมือ นอกจากนี้ยังไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรู้สึกปวด และสภาวะทางจุลชีววิทยาของฟัน (histological status) (Seltzer, Bender และ Ziontz, 1963) นอกจากนี้ยังมีการรั่วของกระแสผ่านเอ็นยึดปริทันต์ และกระตุ้นเส้นประสาทของเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal nerve) ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ตรงความเป็นจริง เครื่องวัดความมีชีวิตของฟันแบบเดิมใช้กำลังจากแบตเตอรี่ซึ่งให้กระแสตรง ความเข้มของการกระตุ้นหรือความเข้มของกระแส สามารถปรับเพิ่มขึ้น โดยปุ่มปรับ (0 - 10) การตีความหมายของข้อมูลเกิดปัญหาขึ้นในขั้นตอนนี้เพราะไม่เป็นการถูกต้องที่จะถือเอาความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มของสิ่งกระตุ้นที่มีหน่วยเป็นโวลต์กับตัวเลขบนปุ่มปรับ (Kanapka และ Colucci, 1986) ผลการทดลองในระยะหลังแสดงอย่างชัดเจนว่าเครื่องวัดการมีชีวิตของฟันรุ่นแรก ๆ ไม่เหมาะกับการใช้วัดอาการเสียวฟัน

Starkและ คณะ (1977) ได้พัฒนา dental pulp stethoscope ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้ได้ระดับของความเสียวฟันทำให้ได้วิธีการทดสอบความมีชีวิตของฟันได้ถูกต้อง เครื่องมือนี้ประกอบด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความไว และสามารถอ่านค่าได้เป็นตัวเลข เชื่อมกับเครื่องพิมพ์ซึ่งวัดความแรงของการกระตุ้นเป็นโวลต์ (root mean square volt) ปลายของเครื่องวัดความมีชีวิตของฟันวางที่บริเวณใกล้เหงือก (midgingival 1/3) ของเคลือบฟันและฟันที่ถูกกระตุ้น และใช้เจลตัวนำ pH 5.4 - 5.6 (Ash, 1986) เมื่ออาสาสมัครรู้สึกร้อน (warm sensation) หรือรู้สึกซ่าๆ (tingling) ก็จะกดปุ่มทำให้หยุดการกระตุ้นโดยอัตโนมัติ และจะเริ่มการทำงานของเครื่องบันทึกเพื่อพิมพ์จำนวนกระแสที่ใช้กระตุ้น Tarbet และคณะ (1979, 1980, 1982) พบว่ามีความแตกต่างระหว่างความรู้สึกก่อนความเสียวฟันในฟันที่ทดสอบว่ามีอาการเสียวโดยใช้ลมเย็นเมื่อเทียบกับฟันที่ไม่มีอาการ ซึ่ง Kleinberg ,Kaufman และ Confessore (1990) ก็ยืนยันผลนี้โดย

พบว่าในฟันที่มีอาการเสียวจะมีระดับของความรู้สึกก่อนเสียวฟันและความรู้สึกเสียวฟันต่ำกว่าในฟันที่ไม่มีอาการ โดยใช้เครื่องมือของ Stark ซึ่งดัดแปลงแล้ว Stark และ Pelzner (1982) พบว่าค่าตัวเลข 15 โวลต์ และค่าที่สูงกว่านี้บ่งบอกว่าเป็นช่วงของฟันที่ไม่มีอาการเสียว เครื่องมือของ Stark ได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองของ Tarbet และคณะ (1979) ในการทดลองที่มีการควบคุมอย่างดี ผลการทดลองได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบที่ใช้ลมเย็น พบว่าการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าให้ผลที่ถูกต้องสามารถวัดปริมาณได้และเป็นรูปธรรม วิธีการนี้ดีกว่าการใช้ลมเย็นโดยสามารถปรับระดับการกระตุ้นอย่างช้าๆเพื่อให้มีความรู้สึกไม่สบายเกิดขึ้นทีละน้อย อย่างไรก็ตามวิธีการของ Stark และคณะ (1977) และ Tarbet และคณะ (1979) ก็ได้รับคำวิจารณ์จาก Orchardson และ Collins (1987) ว่า การทดสอบความมีชีวิตของฟันด้วยไฟฟ้าจะมีความเสี่ยงจากการที่การกระตุ้นดังกล่าวจะแพร่ไปยังฟันข้างเคียง ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันปัญหานี้ผู้วิจัยจึงวางปลายโพรบลงบนเคลือบฟันแทนการวางบนคอฟันที่เสียว ซึ่งทำให้ไม่ได้ข้อมูลที่แท้จริง นอกจากนี้การวางปลายโพรบบนเคลือบฟันจะทำให้เส้นประสาทของเนื้อเยื่อในถูกกระตุ้นโดยตรงมากกว่าจะกระตุ้นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในและเนื้อฟัน (pulp-dentin complex) ทางอ้อมผ่านแรงเคลื่อนของของเหลว (Pashley, 1990; Clark & Troullos, 1990) การกระตุ้นด้วยไฟฟ้ายังได้รับการวิจารณ์ว่าไม่เป็นไปตามหลักสรีระวิทยาเพราะการตอบสนองต่อการกระตุ้นเช่นนั้นไม่สอดคล้องกับการตอบสนองที่พบตามปกติในผู้ที่มีอาการเสียวฟัน Pashley (1990) กล่าวว่า ตามทฤษฎีแล้วอาจเป็นไปได้ที่การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเคลื่อนของของเหลวผ่านท่อเนื้อฟันโดยปรากฏการณ์ "electro-osmosis" และในขณะที่ยังไม่มีความรู้เพียงพอเกี่ยวกับปรากฏการณ์นี้ในเนื้อฟัน ก็ไม่อาจตำหนิว่าการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าไม่เป็นตามหลักสรีระวิทยา จากการที่กระตุ้นด้วยไฟฟ้าไม่ใช่สิ่งที่พบในชีวิตประจำวัน จึงมีปัญหาเกิดขึ้นว่าจำนวนโวลต์ที่ใช้กับค่าความเสียวฟันจากการกระตุ้นตามปกติจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ นอกจากนี้อาสาสมัครอาจมีความกลัวต่อสิ่งกระตุ้นและอาการไม่สบายที่ไม่เคยพบมาก่อนจนทำให้มีผลต่อการประเมินระดับการเสียวฟัน ซึ่งจะทำให้ได้ระดับความเสียวฟันที่มีระดับต่ำกว่าที่ควรจะเป็น การกระตุ้นประสาทฟันโดยใช้กระแสไฟฟ้าอาจไม่เป็นตัวแทนของความเสียวฟันที่แท้จริง เพราะกระแสที่ใช้ขึ้นกับความต้านทานของเส้นทางไปสู่โพรงประสาทฟันและเนื้อเยื่อข้างเคียงที่แตกต่างกัน การกระตุ้นด้วยกระแสที่คงที่สามารถส่งกระแสจำนวนแน่นอนโดยไม่ต้องพิจารณาถึงความแตกต่างของเนื้อเยื่อที่เป็นส่วนที่แข็งของฟัน (Ash, 1986; Pashley, 1990) Pashley (1990) พิจารณาว่า การใช้เครื่องกระตุ้นที่มีกระแสคงที่ยังคงจำเป็นในการศึกษาระดับของกระแสประสาท เพราะยังคงไม่มีสิ่งกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดในขณะนี้

การทดสอบสิ่งกระตุ้น (Application of test stimuli)

แบบและลำดับของการกระตุ้นซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความเข้มได้เป็นสิ่งสำคัญมาก Ash (1986) แนะนำว่า การเพิ่มหรือลดระดับความร้อนหรือการเพิ่มระดับพลังงานไฟฟ้าควรเป็นไปในแนวทางเดียวกัน (monotonic) มากกว่าจะใช้ลำดับแบบสุ่ม เขาสรุปว่าขณะที่ยังไม่สามารถเพิ่มปริมาณการกระตุ้นแบบต่อเนื่องได้ ทั้งการเพิ่มและการลดความเข้มของสิ่งกระตุ้นควรเป็นไปตามขอบเขตของเวลามาตรฐาน ลำดับของการกระตุ้นเมื่อมีการกระตุ้นมากกว่า 1 ชนิดเป็นสิ่งสำคัญ สิ่งกระตุ้นที่มีผลกระทบน้อยที่สุดควรทำก่อนและสิ่งกระตุ้นที่มีผลกระทบมากที่สุดควรเป็นตัวกระตุ้นสุดท้าย (Ash, 1986 ; Clark และ Troullos, 1990) ผู้วิจัยหลายรายทำการกระตุ้นด้วยแรงสัมผัส ไฟฟ้าหรือความร้อนก่อนการกระตุ้นด้วยลมเย็น โดยใช้หลักสิ่งกระตุ้นแรกไม่ก่อให้เกิดการตอบสนองที่มีผลกระทบต่อสิ่งกระตุ้นทีหลัง การกระตุ้นต้องสามารถทำซ้ำได้และสามารถทำนายพฤติกรรมได้ ถ้าวัดปริมาณไม่ได้ก็จะไม่สามารถเปรียบเทียบผลงานของนักวิจัยอื่นๆได้ (Ash, 1986) และไม่มีวิธีการประเมินใดที่เชื่อถือได้ เมื่อใช้เพียงอย่างเดียว (Addy และ Dowell, 1983; Ong และ Strahan, 1989)