

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ชนินทร์ เตชะประเสริฐวิทยา. โรคปริทันต์และกระบวนการรักษา. กรุงเทพมหานคร: เอเชียบุ๊คพับลิชเชอร์, 2544

มนเทียร มโนสุดประสิทธิ์. ตำราวิชาทันตกรรมจัดฟัน. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังน่านาวิทยา, 2548.

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. แรงเสียดทาน [Online].

Available from: <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/75/force/index3.htm>  
[2008,Jan 25]

### ภาษาอังกฤษ

Andreasen, G. F. and Quevedo, F. R. 1970. Evaluation of friction forces in the 0.022 x 0.028 edgewise bracket in vitro. J Biomech 3(2): 151-60.

Angolkar, P. V., Kapila, S., Duncanson, M. G., Jr. and Nanda, R. S. 1990. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(6): 499-506.

Articolo, L. C. and Kusy, R. P. 1999. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop 115(1): 39-51.

Articolo, L. C., Kusy, K., Saunders, C. R. and Kusy, R. P. 2000. Influence of ceramic and stainless steel brackets on the notching of archwires during clinical treatment. Eur J Orthod 22(4): 409-25.

Ash JL, Nikolai RJ (1978). Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. J Dent Res 57(5-6):685-90.

- Baek, S. H., Kim, K. D., Hwang S-J (2007). New Trend in Orthodontics Jung-Gu: Shinhung International, Inc.
- Baker, K. L., Nieberg, L. G., Weimer, A. D. and Hanna, M. 1987. Frictional changes in force values caused by saliva substitution. Am J Orthod Dentofacial Orthop 91(4): 316-20.
- Bednar, J. R., Gruendeman, G. W. and Sandrik, J. L. 1991. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop 100(6): 513-22.
- Berger, J. 2000. Self-ligation in the year 2000. J Clin Orthod 34(2): 74-81.
- Berger, J. L. 1990. The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: a comparative in vitro study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 97(3): 219-28.
- Boester, C. H., Johnston, L. E. 1974. A clinical investigation of the concepts of differential and optimal force in canine retraction. cited in Samuels, R. H., Rudge, S. J. and Mair, L. H. 1998. A clinical study of space closure with nickel-titanium closed coil springs and an elastic module. Am J Orthod Dentofacial Orthop 114(1): 73-9.
- Braun, S., Bluestein, M., Moore, B. K. and Benson, G. 1999. Friction in perspective. Am J Orthod Dentofacial Orthop 115(6): 619-27.
- Damon, D. H. 1998. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating bracket. Clin Orthod Res 1(1): 52-61.

- Downing, A., McCabe, J. F. and Gordon, P. H. 1995. The effect of artificial saliva on the frictional forces between orthodontic brackets and archwires. Br J Orthod 22(1): 41-6.
- Drescher, D., Bourauel, C. and Schumacher, H. A. 1989. Frictional forces between bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 96(5): 397-404.
- Franchi, L., Baccetti, T., Camporesi, M. and Barbato, E. 2008. Forces released during sliding mechanics with passive self-ligating brackets or nonconventional elastomeric ligatures. Am J Orthod Dentofacial Orthop 133(1): 87-90.
- Frank, C. A. and Nikolai, R. J. 1980. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. Am J Orthod 78(6): 593-609.
- Graber, T. M. 2005. Orthodontics : current principles & techniques 4th ed. St. Louis: Elsevier Mosby.
- Harradine, N. W. 2001. Self-ligating brackets and treatment efficiency. Clin Orthod Res 4(4): 220-7.
- Harradine, N. W. 2003. Self-ligating brackets: where are we now? J Orthod 30(3): 262-73.
- Henao, S. P. and Kusy, R. P. 2004. Evaluation of the frictional resistance of conventional and self-ligating bracket designs using standardized archwires and dental typodonts. Angle Orthod 74(2): 202-11.
- Henao, S. P. and Kusy, R. P. 2005. Frictional evaluations of dental typodont models using four self-ligating designs and a conventional design. Angle Orthod 75(1): 75-85.

- Kang, B. S., Baek, S. H., Mah, J. and Yang, W. S. 2003. Three-dimensional relationship between the critical contact angle and the torque angle. Am J Orthod Dentofacial Orthop 123(1): 64-73.
- Kapila, S., Angolkar, P. V., Duncanson, M. G., Jr. and Nanda, R. S. 1990. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(2): 117-26.
- Kapur, R., Sinha, P. K. and Nanda, R. S. 1999a. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(3): 271-4.
- Kapur, R., Sinha, P. K. and Nanda, R. S. 1999b. Frictional resistance in orthodontic brackets with repeated use. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(4): 400-4.
- Kusy, R. P., Whitley, J. Q., Mayhew, M. J. and Buckthal, J. E. 1988. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. Angle Orthod 58(1): 33-45.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 1990a. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. J Biomech 23(9): 913-25.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 1990b. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(4): 300-12.
- Kusy, R. P., Whitley, J. Q. and Prewitt, M. J. 1991. Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. Angle Orthod 61(4): 293-302.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 1997. Friction between different wire-bracket configurations and materials. Semin Orthod 3(3): 166-77.

- Kusy, R. P., Whitley, J. Q., Ambrose, W. W. and Newman, J. G. 1998. Evaluation of titanium brackets for orthodontic treatment: part I. The passive configuration. Am J Orthod Dentofacial Orthop 114(5): 558-72.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 1999a. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. Angle Orthod 69(1): 71-80.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 1999b. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. Eur J Orthod 21(2): 199-208.
- Kusy, R. P. and Whitley, J. Q. 2000. Resistance to sliding of orthodontic appliances in the dry and wet states: influence of archwire alloy, interbracket distance, and bracket engagement. J Biomed Mater Res 52(4): 797-811.
- Loftus, B. P., Artun, J., Nicholls, J. I., Alonzo, T. A. and Stoner, J. A. 1999. Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(3): 336-45.
- Loftus, B. P. and Artun, J. 2001. A model for evaluating friction during orthodontic tooth movement. Eur J Orthod 23(3): 253-61.
- Maijer R, Smith DC (1990). Time savings with self-ligating brackets. J Clin Orthod 24(1):29-31.
- McNamara JA, Jr., Bagramian RA (1999). Prospective survey of percutaneous injuries in orthodontic assistants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 115(1):72-6.

- Miles, P. G. 2005. SmartClip versus conventional twin brackets for initial alignment: is there a difference? Aust Orthod J 21(2): 123-7.
- Nanda, R. 1997. Biomechanics in Clinical Orthodontics. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- O'Reilly, D., Dowling, P. A., Lagerstrom, L. and Swartz, M. L. 1999. An ex-vivo investigation into the effect of bracket displacement on the resistance to sliding. Br J Orthod 26(3): 219-27.
- Ogata, R. H., Nanda, R. S., Duncanson, M. G., Jr., Sinha, P. K. and Currier, G. F. 1996. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. Am J Orthod Dentofacial Orthop 109(5): 535-42.
- Peterson, L., Spencer, R. and Andreasen, G. 1982. A comparison of friction resistance for Nitinol and stainless steel wire in edgewise brackets. Quintessence Int Dent Dig 13(5): 563-71.
- Picton, D. C. 1964. Some Implications of Normal Tooth Mobility During Mastication. Arch Oral Biol 72(565-73).
- Pizzoni, L., Ravnholt, G. and Melsen, B. 1998. Frictional forces related to self-ligating brackets. Eur J Orthod 20(3): 283-91.
- Pratten, D. H., Popli, K., Germane, N. and Gunsolley, J. C. 1990. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98(5): 398-403.
- Read-Ward, G. E., Jones, S. P. and Davies, E. H. 1997. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. Br J Orthod 24(4): 309-17.

- Redlich, M., Mayer, Y., Harari, D. and Lewinstein, I. 2003. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124(1): 69-73.
- Samuels, R. H., Rudge, S. J. and Mair, L. H. 1998. A clinical study of space closure with nickel-titanium closed coil springs and an elastic module. Am J Orthod Dentofacial Orthop 114(1): 73-9.
- Schumacher, H. A., Bourauel, C. and Drescher, D. 1990. [The effect of the ligature on the friction between bracket and arch]. Fortschr Kieferorthop 51(2): 106-16.
- Shivapuja, P. K. and Berger, J. 1994. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. Am J Orthod Dentofacial Orthop 106(5): 472-80.
- Sims, A. P., Waters, N. E., Birnie, D. J. and Pethybridge, R. J. 1993. A comparison of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and a pre-adjusted bracket employing two types of ligation. Eur J Orthod 15(5): 377-85.
- Sims, A. P., Waters, N. E. and Birnie, D. J. 1994. A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. Br J Orthod 21(4): 367-73.
- Smith, R., Storey E. 1952. The importance of force in Orthodontics. cited in Samuels, R. H., Rudge, S. J. and Mair, L. H. 1998. A clinical study of space closure with nickel-titanium closed coil springs and an elastic module. Am J Orthod Dentofacial Orthop 114(1): 73-9.
- Southard, T. E., Marshall, S. D. and Grosland, N. M. 2007. Friction does not increase anchorage loading. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131(3): 412-4.

- Svanberg, G. 1974. Influence of trauma from occlusion on the periodontium of dogs with normal or inflamed gingivae. Odontol Revy 25(2): 165-78.
- Taloumis LJ, Smith TM, Hondrum SO, Lorton L (1997). Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures. Am J Orthod Dentofacial Orthop 111(1):1-11.
- Tecco, S., Festa, F., Caputi, S., Traini, T., Di Iorio, D. and D'Attilio, M. 2005. Friction of conventional and self-ligating brackets using a 10 bracket model. Angle Orthod 75(6): 1041-5.
- Thomas, S., Sherriff, M. and Birnie, D. 1998. A comparative in vitro study of the frictional characteristics of two types of self-ligating brackets and two types of pre-adjusted edgewise brackets tied with elastomeric ligatures. Eur J Orthod 20(5): 589-96.
- Thorstenson, G. and Kusy, R. 2003a. Influence of stainless steel inserts on the resistance to sliding of esthetic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. Angle Orthod 73(2): 167-75.
- Thorstenson, G. A. and Kusy, R. P. 2001. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. Am J Orthod Dentofacial Orthop 120(4): 361-70.
- Thorstenson, G. A. and Kusy, R. P. 2002a. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. Am J Orthod Dentofacial Orthop 122(3): 295-305.
- Thorstenson, G. A. and Kusy, R. P. 2002b. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. Am J Orthod Dentofacial Orthop 121(5): 472-82.



Thorstenson, G. A. and Kusy, R. P. 2003b. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. Angle Orthod 73(4): 418-30.

Trevisi, H. (2006). The SmartClip Self-ligating appliance system : Technique guide. [Online]. Available from:  
[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/orthodontics/Unitek/solutions/brackets/SmartClip](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/orthodontics/Unitek/solutions/brackets/SmartClip) [2008,Jan 25]

Voudouris, J. C. 1997. Interactive edgewise mechanisms: form and function comparison with conventional edgewise brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 111(2): 119-40.

Whitley, J. Q. and Kusy, R. P. 2007. Resistance to sliding of titanium brackets tested against stainless steel and beta-titanium archwires with second-order angulation in the dry and wet states. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131(3): 400-11.

Yeh, C. L., Kusnoto, B., Viana, G., Evans, C. A. and Drummond, J. L. 2007. In-vitro evaluation of frictional resistance between brackets with passive-ligation designs. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131(6): 704 e11-22.

Wong AK (1976). Orthodontic elastic materials. Angle Orthod 46(2):196-205.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

**ตารางความสูงร่องแบริกเกต, ความกว้างแบริกเกต, ความสูงลวด**

ตารางที่ 3 ความสูงร่องแบริกเกต

	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3	ตัวที่ 4	ตัวที่ 5	เฉลี่ย
ตามอนทรีเอ็มเอ็กซ์	0.582	0.600	0.603	0.576	0.608	0.595
สมาร์ทคลิป	0.617	0.618	0.617	0.600	0.613	0.616
เจมินี่	0.560	0.562	0.558	0.559	0.561	0.560

ตารางที่ 4 ความกว้างของแบริกเกต

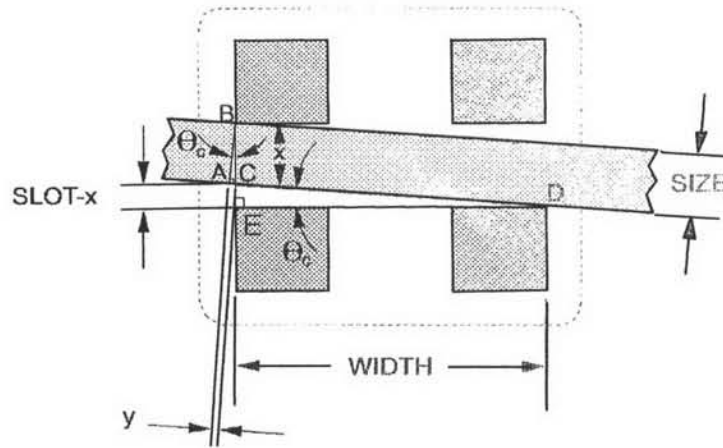
	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3	ตัวที่ 4	ตัวที่ 5	เฉลี่ย
ตามอนทรีเอ็มเอ็กซ์	2.820	2.837	2.842	2.846	2.870	2.844
สมาร์ทคลิป	3.777	3.844	3.860	3.743	3.852	3.815
เจมินี่	3.401	3.405	3.400	3.399	3.395	3.400

ตารางที่ 5 ความสูงของลวด

	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
0.019x0.025 นิ้ว	0.478	0.477	0.479	0.476	0.478	0.478

ภาคผนวก ข

### การหาค่ามุมวิกฤต



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลวด ร่องแปรงเกต ความกว้างของแปรงเกตในแนวใกล้  
กลาง-ไกลกลาง และมุม  $\theta_c$

การหามุมวิกฤตสามารถหาได้จากสมการดังนี้ โดยดูจากรูปที่ 30

$$\tan\theta_c = \sin\theta_c / \cos\theta_c = (\text{ด้านตรงข้ามมุม } \theta_c) / (\text{ด้านที่ชิดมุม } \theta_c)$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม EDC มุม  $\theta_c$  คือ มุม EDC

$$\tan\theta_c = \overline{EC} / \overline{ED} = (\text{Slot} - x) / \text{Width} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม ABC มุม  $\theta_c$  คือ มุม ABC เนื่องจากเป็นสามเหลี่ยมคล้ายกับ  
สามเหลี่ยม EDC

$$\cos\theta_c = \text{Size} / x$$

$$x = \text{Size} / \cos\theta_c \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อนำสมการที่ 2 มาแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้

$$\tan\theta_c = [\text{Slot} - (\text{Size} / \cos\theta_c)] / \text{Width}$$

คูณด้วย  $\cos\theta_c$  ตลอด จะได้

$$\sin\theta_c = [\text{Slot} (\cos\theta_c) - \text{Size}] / \text{Width}$$

$$\text{Size} = -\text{Width} (\sin\theta_c) + \text{Slot} (\cos\theta_c)$$

หารด้วย Slot ตลอด จะได้

$$\text{Size} / \text{Slot} = (-\text{Width} / \text{slot}) \sin\theta_c + \cos\theta_c \quad \text{สมการที่ 3}$$

กรณีที่มุม  $\theta_c$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 องศา  $\sin\theta_c \approx \pi\theta_c/180$  และ  $\cos\theta_c \approx 1$  เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 3 จะได้

$$\text{Size / Slot} = -(\text{Width / Slot})(\pi\theta_c/180) + 1$$

คูณด้วย Slot / Width โดยตลอด จะได้

$$(\text{Slot / Width})(\text{Size / Slot}) = -\pi\theta_c/180 + (\text{Slot / Width})$$

$$(\text{Slot / Width})(\text{Size / Slot}) - (\text{Slot / Width}) = -\pi\theta_c/180$$

$$\theta_c = 180/\pi[-(\text{Slot / width})(\text{Size / Slot}) + (\text{Slot / Width})]$$

$$\theta_c = (180/\pi)(\text{Slot / width}) [- (\text{Size / Slot}) + 1]$$

$$\theta_c = \frac{180/\pi [1 - (\text{Size / Slot})]}{(\text{Width / Slot})}$$

$$\theta_c = \frac{57.32 [1 - (\text{Size / Slot})]}{(\text{Width / Slot})}$$

และเมื่อนำค่าที่วัดได้มาคำนวณค่ามุมวิกฤต จะได้ค่ามุมวิกฤตของแบร์ริเกตแต่ละชนิดดังนี้

แบร์ริเกตตามอนทรีเอ็มเอ็กซ์

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{57.32 [1 - (0.478 / 0.595)]}{(2.844 / 0.595)} \\ &= 2.397\end{aligned}$$

แบร์ริเกตสมาร์คลิป

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{57.32 [1 - (0.478 / 0.616)]}{(3.815 / 0.616)} \\ &= 2.033\end{aligned}$$

แบร์ริเกตเจมินี่

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{57.32 [1 - (0.478 / 0.560)]}{(3.400 / 0.560)} \\ &= 1.416\end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

## การวัดค่าความแม่นยำและน่าเชื่อถือในการวัดค่าแรงเสียดทาน

ตารางที่ 6 แสดงผลการอ่านค่าแรงเสียดทานทั้ง 2 ครั้ง (นิวตัน)

	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2
1	.220	.220
2	.380	.370
3	.282	.282
4	.352	.352
5	.360	.360
6	.385	.385
7	.248	.248
8	.320	.320
9	.280	.280
10	.410	.410
11	.410	.410
12	.200	.200
13	.213	.213
14	.260	.260
15	.208	.209
16	.354	.354
17	.204	.204
18	.220	.220
19	.230	.230
20	.220	.220
21	.370	.360
22	.240	.240
23	.350	.345
24	.260	.260

25	.290	.290
26	.390	.390
27	.400	.400
28	.370	.370
29	.197	.198
30	.281	.281

ภาคผนวก ง

## ข้อมูลแรงเสียดทานในแบร์ริกเกตแต่ละชนิด

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลแรงเสียดทานของแบร์ริกเกต (นิวตัน)

	ตามอนทรีเอ็มเอ็กซ์	สมาร์ทคลิป์	เจมินี่
1	0.33	0.22	1.85
2	0.34	0.38	1.76
3	0.25	0.28	1.32
4	0.40	0.35	2.05
5	0.19	0.36	1.75
6	0.13	0.39	2.26
7	0.29	0.25	1.75
8	0.12	0.32	1.37
9	0.11	0.28	1.99
10	0.08	0.41	1.69
11	0.33	0.41	1.77
12	0.22	0.20	2.32
13	0.18	0.21	2.33
14	0.16	0.26	2.64
15	0.13	0.21	1.52
16	0.13	0.35	1.78
17	0.12	0.20	1.51
18	0.18	0.22	1.78
19	0.11	0.23	2.35
20	0.11	0.22	2.48
21	0.26	0.37	1.78
22	0.16	0.24	1.68
23	0.31	0.35	2.86
24	0.14	0.26	1.71



	ตามอนทรีเอ็มเอ็กซ์	สมาร์ทคลิป	เจมินี่
25	0.21	0.29	1.49
26	0.20	0.39	1.06
27	0.20	0.40	1.78
28	0.28	0.37	1.76
29	0.17	0.20	1.54
30	0.24	0.28	2.02

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย บัณฑิต ชิตีวรรณพร เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 เข้ารับราชการเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลลำทับ อำเภอลำทับ จังหวัดกระบี่ เป็นเวลา 2 ปีจึงได้ลาออก เพื่อศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549